ISSN 0536-1036 DOI: 10.17238/issn0536-1036

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

6/372

2019

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)
**Билей П.В.,** д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
**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. (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)
**Моисеев Н.А.,** д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
**Морозов В.С.,** д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
**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)
**Телышева 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)
**Энгельманн Х.-Д.,** д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036 DOI: 10.17238/issn0536-1036

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

6/372

2019

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)
**Biley P.V.,** Doctor of Engineering, Prof., Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
**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. (Russia, Petrozavodsk)
**Kozhukhov N.I.,** Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
**Kurov V.S.,** Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
**Lupascu T.G.,** Doctor of Chemistry Sciences, Prof., Member 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)
**Moiseev N.A.,** Doctor of Agriculture, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
**Morozov V.S.,** Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
**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, Senior 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*

*Н.М. Дебков.* Динамика радиального прироста кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour при различных режимах рубок уход…….. 9

*О.С. Машкина, Е.А. Шабанова, И.Н. Вариводина, Т.А. Гродецкая.* Полевые испытания размноженных *in vitro* клонов осины (*Populus tremula* L.): рост, продуктивность, качество древесины, генетическая стабильность…… 25

*Н.В. Беляева, Нгуен Тхи Тху Хыонг, Д.А. Данилов, А.В. Грязькин.* Развитие нижних ярусов растительности под пологом тропического леса в условиях Вьетнама.. 39

*Н.Н. Бессчетнова, А.В. Кулькова.* Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (Picea L.) в условиях Нижегородской области…….. 52

*М.Ю. Сауткина, Ю.И. Чевердин.* Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агролесомелиоративных ландшафтов Каменной Степи… 62

*И.В. Волчатова.* Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий……. 79

*В.М. Лебедев, Е.В. Лебедев.* Эколого-физиологические особенности реакции сосны обыкновенной на уровень плодородия почвы как показатель адаптации к условиям среды…… 92

*С.А. Кабанова, М.А. Данченко, И.С. Кочегаров, А.Н. Кабанов.* Опыт интенсивного выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан……... 104

*С.С. Макаров, Е.С. Багаев, С.Ю. Цареградская, И.Б. Кузнецова.* Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области……... 118

*В.Д. Горбунова, С.Л. Менщиков.* Содержание элементов питания в листьях белых берез в интрозональных условиях на Северном Урале……. 132

*А.В. Семенютина, Н.Г. Ноянова.* Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны……. 146

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

*И.Р. Шегельман, П.В. Будник, В.Н. Баклагин.* Методика компьютерного эксперимента при определении грузоподъемности и размеров грузового отсека лесной транспортной машины…… 160

*Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов, Е.В. Шевелева.* Повышение износостойкости сучкорезных ножей многооперационных лесозаготовительных машин…… 174

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

*Ш.Г. Зарипов, А.П. Чижов, В.А. Корниенко, Н.И. Семёнова*. Влияние водорастворимых веществ на распределение влажности в лиственничных пиломатериалах перед сушкой…… 185

*С.П. Агеев*. Математическое моделирование электропотребления процесса рамной распиловки древесины…….. 194
*С.Н. Рыкунин, А.А. Каптелкин*. Влияние ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита……. 202
*А.Н. Деснев, Г.Ф. Прокофьев, В.Ю. Тюриков*. Моделирование температурного поля в массиве кучи измельченной древесины…….. 213

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

*О.С. Андранович, Е.Ю. Демьянцева, А.П. Филиппов, Р.А. Смит*. Деэмульгирование сульфатного мыла при введении неиногенного поверхностно-активного вещества……... 224
*С.И. Басырова, М.Ф. Галиханов*. Поверхностные свойства модифицированного картона…….. 233
*Н.В. Селиванова, Н.А. Самсонова, М.А. Гусакова, К.Г. Боголицын, М.В. Богданов*. Состав экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) приарктических территорий…….... 241

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

*А.Л. Воробьев, А.А. Калачев, С.В Залесов*. Фитоминеральный гель для инкрустации корней сеянцев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.)…….. 255
*Л.Н. Пак*. Изменчивость показателей качества семян *Pinus sylvestris* L. на территории Забайкальского края……..... 262
*В.С. Шалаев, С.Н. Рыкунин, В.И. Мелехов*. Публикационная результативность научно-исследовательских работ в интересах лесного комплекса России…. 270
*H. Falck, Mikhaylov K.L., Demidova N.A.* Wood Waste Potential as Forestry Competitive Advantage (By the Example of the Arctic Inland Territories of the Russian European North)…… 280

Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2019 г.

# CONTENTS

*FORESTRY*

*N.M. Debkov*. Dinamics of the Radial Growth of Siberian Pine *Pinus sibirica* Du Tour under Different Thinning Modes…… 9

*O.S. Mashkina, E.A. Shabanova, I.N. Varivodina, T.A. Grodetskaia.* Field Trials of *in vitro* Propagated Aspen Clones (*Populus tremula* L.): Growth, Productivity, Wood Quality, and Genetic Stability…… 25

*N.V. Beliaeva, Nguyen Thi Thu Huong, D.A. Danilov, A.V. Gryazkin.* Development of the Vegetation Lower Layer under the Tropical Forest Canopy in Vietnam……. 39

*N.N. Besschetnova, A.V. Kul'kova.* The Content of Reserve Nutrients in the Cells of Annual Shoot Tissues of the Representatives of the Spruce (*Picea* L.) Genus in Nizhny Novgorod Region……. 52

*M.Yu. Sautkina, Yu.I. Cheverdin.* Microbiological Analysis of the Soil Cover of the Kamennaya Steppe Agroforestry Landscapes…….. 62

*I.V. Volchatova.* Vegetation Fires as a Factor of Reducing the Volume of Ecosystem Services of Forests of Specially Protected Natural Areas…… 79

*V.M. Lebedev, E.V. Lebedev*. Ecological and Physiological Features of the Scots Pine Reaction to the Soil Fertility Level as an Indicator of Adaptation to Environmental Conditions…….. 92

*S.A. Kabanova, M.A. Danchenko, I.S. Kochegarov, A.H. Kabanov.* The Experience of Intensive Cultivation of One-Year-Old Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan……... 104

*S.S. Makarov, E.S. Bagayev , S.Yu. Tsaregradskaya, I.B. Kuznetsova.* Problems of Use and Reproduction of Phytogenic Food and Medicinal Forest Resources on the Forest Fund Lands of the Kostroma Region…….. 118

*V.D. Gorbunova, S.L. Menshikov.* The Content of Nutrients in Leaves of White Birch Trees in Intrazonal Conditions in the Northern Urals…… 132

*A.V. Semenyutina, N.G. Noyanova.* Regional Specificity of Urban Greening at the Residential Areas of the Southern Arid Steppe Zone…… 146

*LOGGING TECHNOLOGIES*

*I.R. Shegelman, P.V. Budnik, V.N. Baklagin.* Computer Experiment Technique for Determining the Load Capacity and Dimensions of the Carrying Compartment of a Forest Vehicle…….. 160

*G.A. Pilyushina, E.A. Pamfilov, E.V. Sheveleva*. Wear Resistance Improvement of Delimbing Knives of Multifunctional Logging Machines……. 174

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE*

*Sh.G. Zaripov, A.P. Chizhov, V.A. Kornienko, N.I. Semenova*. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber before Drying… 185
*S.P. Ageev*. Mathematical Modeling of Electric Energy Consumption of Frame Sawing… 194
*S.N. Rykunin, A.A. Kaptelkin*. The Influence of Birch False Heartwood on the Volume Yield of Lamellae from the Sapwood Zone for Board Panel Production……... 202
*A.N. Desnev, G.F. Prokof'ev, V.Yu. Tyurikov*. Simulation of the Temperature Field in the Crushed Wood Heap Massif……. 213

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

*O.S. Andranovich, E.Yu. Demiantseva, A.P. Filippov, R.A. Smit*. Sulphate Soap Demulsifying with Addition of Non-Ionic Surfactant…….. 224
*S.I. Basirova, M.F. Galikhanov, L.R. Galeeva*. Surface Properties of Modified Cardboard…….. 233
*N.V. Selivanova, N.A. Samsonova, M.A. Gusakova, K.G. Bogolitsyn, M.V Bogdanov*. Composition of Extractive Substances from Wood Greenery of Common Juniper (*Juniperus communis* L.) in Subarctic Territories…… 241

*BRIEF SUMMARIES AND EXPERIENCE EXCHANGE*

*A.L. Vorobyov, A.A. Kalachev, S.V. Zalesov*. Phytomineral Gel for Seedling Roots Incrustation of Siberian Spruce (*Picea obovata* Ledeb.)……... 255
*L.N. Pak*. Variability of Seed Quality Indicators of *Pinus sylvestris* L. within the Territory of Zabaykalsky Krai…… 262
*V.S. Shalaev, S.N. Rykunin, V.I. Melekhov*. Publication Research Performance for the Forest Complex of Russia……. 270
*H. Falck, Mikhaylov K.L., Demidova N.A*. Wood Waste Potential as Forestry Competitive Advantage (By the Example of the Arctic Inland Territories of the Russian European North)…….. 280

Index of Articles Published in the Forestry Journal in 2019

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*(561.21+582.475):630*24(571.1)
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

# ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА КЕДРА СИБИРСКОГО *Pinus sibirica* Du Tour ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РУБОК УХОДА

***Н.М. Дебков*[1,2]*, канд. с.-х. наук, науч. сотр.;*** *ResearcherID: H-1146-2019, ORCID: 0000-0003-3791-0369*
[1]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru
[2]Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская область, Россия, 141202

Создание и формирование кедровников различного целевого назначения, и особенно кедросадов, является актуальной проблемой российского лесоводства. Рассмотрена динамика радиального прироста деревьев кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour после рубок ухода с разными режимами (способ, число приемов и др.). Анализ выполнен как на уровне всего сообщества, так и по элементам леса. Исследования проведены на экспериментальных объектах, расположенных на территории Ханты-Мансийского автономного округа и Тюменской области в подзоне средней тайги. Установлено, что реакция кедра сибирского на рубки формирования кедросадов зависит от интенсивности, числа приемов и времени проведения рубок ухода, а также от возрастной и морфологической структуры кедра сибирского на вырубках и под пологом производных лесов. Выявлено, что экстенсивные кедросады формируются как при интенсивных, так и при систематических рубках ухода. В этом случае средний радиальный прирост колеблется от 3 до 5 мм/год, что обеспечивает не только ритмичный поступательный рост, но и физиологическое развитие. Как следствие, по истечении 30–35 лет практически все деревья уже вступили в генеративную фазу и активно семеносят. Однократные, особенно рубки с малой выборкой (менее 50 %), приводят к формированию интенсивных кедросадов со средним приростом ствола от 2 до 3 мм/год. Перегущенность древостоя не только снижает радиальный прирост кедра сибирского, но и замедляет скорость протекания онтогенетических стадий и фаз, поэтому в этих кедросадах присутствуют деревья, которые еще ни разу не давали урожая шишек.
***Для цитирования:*** Дебков Н.М. Динамика радиального прироста кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour при различных режимах рубок ухода // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 9–24. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

*Ключевые слова*: кедр сибирский *Pinus sibirica* Du Tour, рубки ухода, структура древостоя, радиальный прирост ствола, Западная Сибирь.

## *Введение*

В мире наблюдается смена парадигмы лесопользования от крупномасштабной сплошнолесосечной формы к различным видам выборочных рубок

[11]. Среди них наибольшее значение придается рубкам ухода, в результате проведения которых увеличивается пространство роста и снижается конкуренция за ресурсы питания, что стимулирует интенсивный прирост остающихся деревьев [17]. Первостепенную важность имеют первые приемы рубок ухода в молодняках [8], что и обеспечивают целевые показатели (породно-размерно-качественные параметры) будущих древостоев. В отношении кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour основополагающее значение принадлежит информации о ходе роста деревьев, который одновременно является и катализатором, и индикатором начала семеношения. Ранее было установлено, что генеративная фаза онтогенеза у кедра сибирского наступает после первых 20 лет интенсивного и поступательного роста, особенно по диаметру [2].

Цель исследования – изучение динамики радиального прироста у кедра сибирского в зависимости от типа кедросадов, вида и режимов рубок ухода.

## *Объекты и методы исследования*

Объекты исследования расположены в пределах среднетаежной подзоны Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО-Югры) и Тюменской области. Бóльшая их часть – это экспериментальные участки, заложенные в 1980-е гг. Тюменской лесной опытной станцией (ТЛОС) на территории урочища «Острова» Ханты-Мансийского лесничества.

Первая серия пробных площадей (ПП) заложена в насаждении, где сделана попытка сформировать постоянные лесосеменные участки (ПЛСУ). Учитывая специфику формирования, было заложено 4 ПП, которые имеют разную историю лесоводственного воздействия и структуру древостоя (табл. 1):

Таблица 1

**Характеристика экспериментальных объектов кедра сибирского**

| ПП | Состав, ед. | Высота, м | Диаметр, см | Возраст, лет | Густота, шт./га | Запас, $м^3$/га | Крона, м/% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Протяженность | Ширина |
| 41 | 9К | 15,8±0,3 | 32,6±0,7 | 50,0±2,1 | 375 | 307,5 | 8,2±0,3 / 52±2 | 3,9±0,3 / 25,2 |
| | 1Б | 13,7±0,9 | 9,4±0,3 | 31,3±2,6 | 335 | 20,1 | | |
| | ед. Е | 10,5±1,0 | 10,0±0,6 | 31,0±0,6 | 127 | 5,1 | | |
| 42 | 9К | 13,9±0,5 | 21,9±0,8 | 42,9±2,7 | 930 | 204,6 | 5,4±0,3 / 39±2 | 2,2±0,1 / 16±1 |
| | 1Б | 12,8±0,1 | 9,9±0,8 | 27,5±2,6 | 270 | 16,2 | | |
| | ед. Е | 9,8±1,3 | 10,5±0,6 | 27,2±1,2 | 80 | 2,4 | | |
| 43 | 10К | 15,0±0,2 | 34,3±0,6 | 48,9±2,2 | 435 | 356,7 | 8,2±0,3 / 55±2 | 3,1±0,1 / 21±1 |
| 44 | 10К | 16,4±0,4 | 23,8±0,4 | 48,5±1,6 | 920 | 331,2 | 7,2±0,3 / 44±2 | 2,8±0,2 / 17±1 |
| Уват | 10К | 16,2±1,1 | 29,1±1,5 | 67,4±6,8 | 355 | 181,0 | 9,9±0,6 / 61±4 | 2,9±0,2 / 18±1 |
| | ед. Б | 10,7±0,9 | 9,3±1,0 | 15,5±0,5 | 40 | 2,0 | | |
| | ед. Е | 10,5±1,5 | 10,0±0,9 | 19,5±1,5 | 40 | 1,6 | | |
| ТЛОС К | 7К | 15,6±1,4 | 19,8±1,5 | 91,1±17,7 | 1046 | 251,0 | 5,0±0,3 / 32±2 | 2,5±0,3 / 16±2 |
| | 2Е | 18,8±1,9 | 24,1±2,5 | 80,2±19,7 | 324 | 77,8 | | |
| | 1Б | 20,5±2,5 | 25,3±4,8 | 89,0±25,5 | 103 | 24,7 | | |

*Окончание табл. 1*

| ПП | Состав, ед. | Высота, м | Диаметр, см | Возраст, лет | Густота, шт./га | Запас, м³/га | Крона, м/% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Протяженность | Ширина |
| ТЛОС 25 | 7К | 17,3±1,0 | 22,8±1,2 | 80,0±14,2 | 1008 | 241,9 | 6,4±0,5 / 37±3 | 2,6±0,3 / 15±2 |
| | 2Б | 20,5±2,5 | 23,4±2,0 | 89,0±25,5 | 331 | 79,4 | | |
| | 1Е | 18,8±1,9 | 19,3±1,7 | 80,2±19,7 | 101 | 24,2 | | |
| ТЛОС 50 | 10К | 16,0±1,5 | 23,3±0,9 | 60,7±5,7 | 915 | 283,6 | 6,4±0,5 / 40±3 | 2,4±0,3 / 15±2 |
| ТЛОС 75 | 10К | 15,1±0,5 | 21,2±0,9 | 46,4±2,8 | 830 | 258,6 | 6,2±0,3 / 41±2 | 2,3±0,1 / 15±1 |
| Химуход | 9К | 15,0±1,2 | 22,7±1,7 | 81,2±3,4 | 625 | 206,2 | 5,8±0,1 / 39±2 | 2,1±0,1 / 14±1 |
| | 1П | 12,7±4,5 | 11,6±1,7 | 64,5±6,5 | 225 | 15,3 | | |
| | +Б | 19,1±1,5 | 24,2±1,9 | 85,3±14,4 | 25 | 9,2 | | |
| | ед. Е | 7,8±0,5 | 8,2±0,9 | 52,1±12,2 | 100 | 2,3 | | |

Примечание. К – кедр, Е – ель, П – пихта, Б – береза.

ПП № 41 – участок, где полностью выполнена программа рубок ухода 1985 г. по удалению сопутствующих пород и снижению густоты деревьев кедра сибирского до 500 шт./га;

ПП № 42 – участок, где вырублены только второстепенные породы (ель сибирская, береза пушистая) в 1985 г.;

ПП № 43 – опытный участок, где проведены первые рубки формирования, в 2012 г. на нем прошла рубка второстепенных пород (ель сибирская *Picea obovata* Ledeb., береза пушистая *Betula pubescens* Ehrh.), появившихся после 1981 г., и сухостоя кедра сибирского;

ПП № 44 – участок, где вырублены только второстепенные породы (ель сибирская, береза пушистая) в 1985 г. и удалены нежелательные деревья кедра сибирского в 2007 г.

Вторая серия ПП ТЛОС заложена на экспериментальном объекте, где в 1987 г. проведено изреживание 30-летнего кедровника с разной интенсивностью по числу деревьев: 25 (ТЛОС 25), 50 (ТЛОС 50) и 75 (ТЛОС 75) %. На контрольной секции уход не проводился.

Объект, расположенный в Тюменской области (ПП «Уват»), находится в Уватском лесничестве. Закладка ПЛСУ кедра сибирского произведена в 1994 г. на площади 5 га из естественного молодняка. Интенсивность рубок ухода в молодняках составляла 25 %. Первый прием был проведен в 1987–1988 гг. (общая интенсивность 50 %), второй – в 1994–1995 гг. (50 %), третий – в 1998 г. (выборка около 15 м³/га березы пушистой и ели сибирской последующего происхождения). Впоследствии, с 2003 по 2006 г., проводилась ежегодная рубка как уход за ПЛСУ с выборкой 8...10 м³/га древесины березы пушистой и ели сибирской, а также сухостоя кедра сибирского.

Объект «Химуход» располагается на территории ХМАО-Югры в окрестностях д. Чембакчино. Общая площадь вторичного спелого осиново-березового насаждения, обработанная препаратом «Утал» к 1986 г. составила около 9 га. В результате химической подсушки деревья мягколиственных пород погибли почти полностью и к моменту исследования уже перегнили.

Схожие лесорастительные условия характерны для деревьев, произрастающих на среднесуглинистой подзолистой почве (ПП № 41–43). Общее

проективное покрытие напочвенного покрова – 60...80 %, доминантами которого являются кисличка (*Oxalis acetosella*), черника (*Vaccinium myrtillus*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*) и др. В аналогичных условиях заложена ПП «Химуход» (но почва легкосуглинистая).

Отличие ПП № 44 и серии ПП ТЛОС заключается в том, что они расположены на гривном возвышении, сложенном рыхлыми отложениями. Почва там супесчаная подзолистая, более влажная, что отражается в изменении доминантов напочвенного покрова, в котором появляются осочка (*Carex macroura*) и кукушкин лен (*Polytrichum commune*). Для ПП «Уват» характерно преобладание в напочвенном покрове (наряду с вышеперечисленными для ПП № 41–43 видами) хвоща лесного (*Equisetum sylvaticum*), вейника Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii*), голокучника (*Gymnocarpium dryopteris*), чины весенней (*Lathyrus vernus*) с общим проективным покрытием 90 %, что позволяет диагностировать эту ассоциацию как разнотравный тип леса на тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почве. Остальные объекты относятся к мелкотравно-зеленомошному типу.

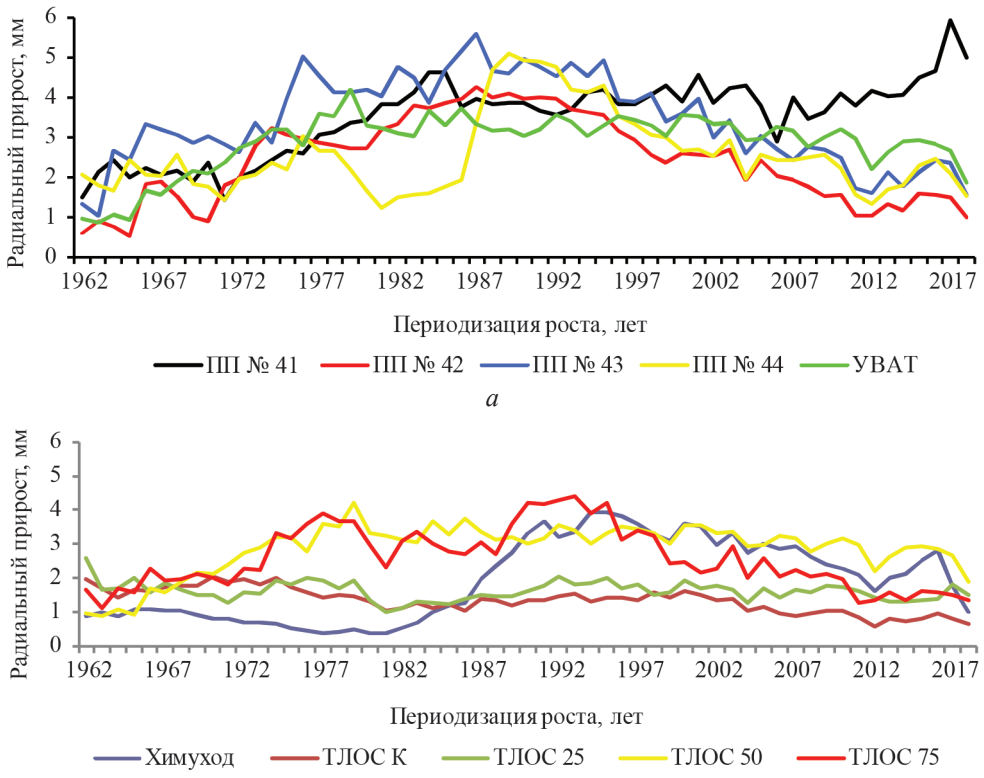
Вслед за Ю.Б. Алексеевым [1] кедросады как насаждения с преобладанием кедра сибирского, целью которых является продуцирование семенного материала (кедрового ореха), поделены нами на 2 типа: интенсивные и экстенсивные. Для экстенсивных кедросадов характерно редкое размещение с максимизацией семеношения на конкретном дереве (например, ПЛСУ и окультуренные редкостойные припоселковые кедровники). В противоположность им интенсивные кедросады имеют загущенный древостой (таежные и близкие к ним припоселковые кедровники).

ПП отграничивались в натуре по буссоли Suunto с помощью ниткомера, производился сплошной перечет мерной вилкой Haglof. На его основании по методу пропорционально-ступенчатого представительства отбирались модельные деревья в количестве 20–30 шт. для взятия кернов приростным буравом Haglof и измерения высоты с помощью электронного высотомера Nikon Forestry Pro. Для деревьев кедра сибирского с использованием крономера Кондратьева дополнительно измерялись такие морфологические параметры кроны, как протяженность и ширина.

Камеральную обработку экспериментального материала производили в программе Statistica 10, применяя стандартные описательные статистики, непараметрические критерии оценки достоверности разности для независимых (для двух – Манна–Уитни, для нескольких – Краскела–Уоллиса) и зависимых (для двух – Вилкоксона, для нескольких – Фридмана) переменных. Ширину древесных колец измеряли с помощью комплекса LINTAB-5 с пакетом компьютерных программ TSAP (точность измерений ±0,01 мм).

*Результаты исследования и их обсуждения*

**Динамика радиального прироста древостоев кедра сибирского на экспериментальных объектах.** Более выраженная реакция отмечалась у кедра сибирского на уровне древостоя на рубки формирования интенсивных кедросадов, несмотря на большую угнетенность роста кедровых молодняков под пологом производных лесов по сравнению с молодняками на вырубке после химической подсушки верхнего полога (см. рисунок).




Динамика радиального прироста кедровников, формируемых как интенсивные (*а*) и экстенсивные (*б*) кедросады

The dynamics of the radial growth of Siberian pine forests formed as intensive (*a*) and extensive (*б*) Siberian pine seed orchards

Слабой реакцией характеризуется секция ухода с выборкой 25 % деревьев. Более рельефно выглядит увеличение радиального прироста на секции с удалением 75 % сопутствующих пород и отставших в росте деревьев кедра сибирского. Однако отличие реакции на рубку на данной секции от участка с химическим уходом заключается в том, что в первое десятилетие на ней происходило более интенсивное наращивание прироста ствола, а потом его резкое снижение. На секции с 50 %-й интенсивностью ухода ввиду того, что на момент рубки ухода кедровый молодняк находился в состоянии интенсивного роста, влияние рубки заключалось в создании оптимальных условий, что привело к увеличению периода повышенного прироста ствола. Проведение санитарной рубки не оказало существенного влияния на динамику радиального прироста у кедра сибирского на контрольной секции.

На объектах формирования экстенсивных кедросадов отмечаются несколько иные результаты. На участках с более редкостойными (ППП № 41, 43, «Уват») древостоями динамика более выровненная, которая показывает, что рубки ухода обеспечили рост без значительного угнетения. Более густые древостои (ППП № 42, 44) характеризуются куполообразной формой динамики радиального прироста. Влияние рубок ухода второго и последующих приемов не оказывает такого стимулирующего воздействия на увеличение роста деревьев кедра сибирского, как первый прием.

**Варьирование радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как интенсивные кедросады.** На контрольной секции (ТЛОС К) кедровый древостой сформировался на 88 % из крупного подроста и на 12 % из тонкомера. Динамика роста кедра обеих групп высот характеризуется относительной выровненностью (с увеличением прироста до 1,5 раз) в период с 1988 по 2006 г. и падением (в 1,5–2 раза) в период с 2007 по 2018 г. (табл. 2). Данная закономерность является отправной точкой при анализе изменений в радиальном приросте кедра для других секций ТЛОС.

Таблица 2

**Динамика радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как интенсивные кедросады**

| ПП | Элемент древостоя | Период, лет | Статистические показатели радиального прироста | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | M±m, мм | Lim, мм | σ, мм | CV, % |
| ТЛОС К | Крупный подрост | 1917–1987 | 0,88±0,06 | 0,07...2,01 | 0,50 | 57,0 |
| | | 1988–2006 | 1,45±0,05 | 1,02...1,77 | 0,22 | 15,2 |
| | | 2007–2018 | 0,94±0,06 | 0,64...1,22 | 0,19 | 20,8 |
| | Тонкомер | 1836–1987 | 1,07±0,05 | 0,13...3,19 | 0,63 | 58,7 |
| | | 1988–2006 | 1,06±0,09 | 0,47...1,80 | 0,37 | 35,5 |
| | | 2007–2018 | 0,54±0,04 | 0,33...0,73 | 0,13 | 24,8 |
| ТЛОС 25 | Крупный подрост | 1946–1987 | 1,42±0,11 | 0,26...2,61 | 0,69 | 48,3 |
| | | 1988–2006 | 1,51±0,07 | 1,08...2,23 | 0,31 | 20,7 |
| | | 2007–2018 | 1,67±0,08 | 1,24...2,06 | 0,28 | 16,6 |
| | Тонкомер | 1866–1987 | 0,90±0,04 | 0,30...3,31 | 0,40 | 44,6 |
| | | 1988–2006 | 1,73±0,10 | 1,00...2,48 | 0,43 | 25,1 |
| | | 2007–2018 | 1,37±0,06 | 1,08...1,83 | 0,21 | 15,6 |
| ТЛОС 50 | Крупный подрост | 1965–1987 | 2,03±0,15 | 0,77...3,36 | 0,72 | 35,5 |
| | | 1988–2006 | 2,04±0,11 | 1,39...2,90 | 0,46 | 22,7 |
| | | 2007–2018 | 1,26±0,10 | 0,84...1,80 | 0,34 | 27,3 |
| | Тонкомер | 1925–1987 | 2,13±0,15 | 0,37...4,72 | 1,17 | 55,0 |
| | | 1988–2006 | 2,11±0,10 | 1,56...3,14 | 0,44 | 20,7 |
| | | 2007–2018 | 1,10±0,06 | 0,78...1,44 | 0,20 | 17,9 |
| ТЛОС 75 | Последующий подрост | 1995–2006 | 2,13±0,44 | 0,53...5,15 | 1,52 | 71,3 |
| | | 2007–2018 | 1,51±0,25 | 0,25...3,05 | 0,88 | 58,2 |
| | Мелкий и средний подрост | 1965–1987 | 1,28±0,18 | 0,11...3,14 | 0,85 | 66,8 |
| | | 1988–2006 | 2,97±0,17 | 1,91...4,23 | 0,72 | 24,3 |
| | | 2007–2018 | 1,91±0,14 | 1,22...2,75 | 0,49 | 25,5 |
| | Крупный подрост | 1962–1987 | 2,25±0,18 | 0,85...4,27 | 0,92 | 40,8 |
| | | 1988–2006 | 2,80±0,22 | 1,65...4,40 | 0,94 | 33,7 |
| | | 2007–2018 | 1,50±0,12 | 0,85...2,09 | 0,43 | 28,4 |
| | Тонкомер | 1960–1987 | 3,19±0,21 | 0,98...4,97 | 1,12 | 35,1 |
| | | 1988–2006 | 3,96±0,19 | 2,46...5,99 | 0,85 | 21,5 |
| | | 2007–2018 | 1,75±0,13 | 1,29...2,67 | 0,45 | 25,8 |
| Химуход | Крупный подрост 1-го поколения | 1951–1985 | 1,35±0,07 | 0,77...2,50 | 0,41 | 30,7 |
| | | 1986–2018 | 4,87±0,21 | 1,38...6,67 | 1,20 | 24,6 |
| | Крупный подрост 2-го поколения | 1928–1985 | 0,63±0,03 | 0,19...1,14 | 0,24 | 38,9 |
| | | 1986–2018 | 2,09±0,12 | 0,88...3,18 | 0,68 | 32,7 |

На секции с выборкой 25 % кедровый древостой сформировался на 57 % из крупного подроста и на 43 % из тонкомера. При этом крупный подрост характеризуется незначительным увеличением прироста после рубки ухода, а тонкомер – резким (в 2 раза) повышением и незначительным снижением после 2006 г. Сравнительный анализ показал, что до 1987 г. радиальный прирост у крупного подроста был достоверно выше, чем у тонкомера (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$). После рубки ухода разница нивелировалась (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}1365 > 0{,}05$). После 2006 г. снова лучше стал расти кедр, развивающийся из крупного подроста (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0140 < 0{,}05$). Кедр из тонкомера отреагировал на рубку ухода через 4 года, положительная динамика длилась 13 лет. Резкое падение прироста отмечено с 2004 г. Крупный подрост кедра сразу отреагировал на рубку ухода и сохранял этот эффект на протяжении 25 лет. Падение прироста началось с 2012 г.

На секции с выборкой 50 % кедровый древостой сформировался на 50 % из крупного подроста и на 50 % из тонкомера. Рост кедра обеих групп высот показывает схожую динамику: после рубки ухода выровненный радиальный прирост и его резкое падение после 2006 г. До рубки ухода радиальный прирост не имел достоверных отличий (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}9611 > 0{,}05$). В последующие периоды он также не различался (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}6197 > 0{,}05$ и $p = 0{,}9611 > 0{,}05$ соответственно). Реакция на рубку кедра из тонкомера отмечена сразу, повышенный прирост наблюдался на протяжении 19 лет, из них интенсивный – 15 лет. Крупный подрост кедра отреагировал на рубку ухода сразу. При этом лесоводственный эффект составил 24 года, в том числе 10 лет интенсивного роста. Резкое падение прироста отмечено с 2011 га.

На секции с выборкой 75 % кедровый древостой сформировался на 7 % из последующей генерации подроста, на 21 % – из мелкого и среднего подроста, на 43 % – из крупного подроста, на 29 % – из тонкомера. Рост кедра предварительных генераций имеет схожую динамику: после рубки ухода увеличение радиального прироста и его резкое (в 2–2,5 раза) падение после 2006 г. Причем усиление роста демонстрирует обратную зависимость с категорией высоты. Только рост кедра из последующего подроста не имеет достоверных отличий (ранговый дисперсионный анализ Фридмана, $p = 0{,}7630 > 0{,}05$), но его динамика также характеризуется снижением прироста ствола в период после 2006 г. Сравнительный анализ показал, что до 1987 г. радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$). После рубки ухода достоверно отличался только прирост у тонкомера (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$). После 2006 г. различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}2624 > 0{,}05$). Кедр из последующего возобновления не отреагировал на лесоводственный уход, но надо учитывать, что он появился на 8-й год после рубки. Предварительные генерации откликнулись на рубку практически сразу, и период повышенного роста составил от 18 до 23 лет, из них интенсивного – от 6 до 16 лет. Резкое падение прироста отмечено с 2011 г.

До рубки ухода прирост ствола у крупного подроста на ПП ТЛОС 25 был выше, чем в контроле (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$), но после рубки ухода разница нивелировалась (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}8040 > 0{,}05$). С 2007 по 2018 г. вновь отмечается более интенсивный рост подроста на ПП ТЛОС 25 (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$). Радиальный прирост

у тонкомера имел достоверные отличия после рубки ухода и в период с 2007 по 2018 г. (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$), а до рубки ухода различий не было (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}1967 > 0{,}05$). Таким образом, на данной секции только тонкомер кедра положительно и устойчиво увеличил радиальный прирост после рубки ухода.

Сравнение роста как крупного подроста, так и тонкомера на ПП ТЛОС 50 и контроле показало, что на протяжении всех периодов существовали достоверные различия (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0387 < 0{,}05$ и $p = 0{,}0001 < 0{,}05$ соответственно). При этом лучшим ростом характеризуются растения на секции с уходом.

Аналогичные результаты отмечены и на участке ПП ТЛОС 75, где крупный подрост и тонкомер также показали положительную динамику по сравнению с контролем (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0015 < 0{,}05$ и $p = 0{,}0001 < 0{,}05$ соответственно).

На экспериментальном участке с химическим уходом кедровый элемент древостоя сформировался из крупного подроста, причем 75 % приходится на 1-е возрастное поколение (81–91 год), 25 % – на 2-е (61–69 лет). Рост кедра обоих поколений характеризуется резким (в 3–3,5 раза) усилением роста после химического ухода. При этом различия в приросте между возрастными поколениями были как до ухода (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$), так и после него (критерий Манна–Уитни, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$). Кедр более молодой генерации среагировал на химический уход сразу, и повышенный прирост сохраняется до сих пор. Старшее возрастное поколение имеет схожую динамику, но лесоводственный эффект изменяется по постепенно убывающей кривой.

**Варьирование радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как экстенсивные кедросады.** На ПП № 41 кедровый древостой на 7 % сформировался из последующей генерации подроста, на 15 % – из мелкого и среднего подроста, на 46 % – из крупного подроста, на 31% – из тонкомера. Рост кедра из предварительного подроста имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечено увеличение радиального прироста в 1,5–3 раза (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика радиального прироста элементов леса кедра сибирского на объектах, формируемых как экстенсивные кедросады**

| ПП | Элемент древостоя до рубки | Период, лет | Статистические показатели радиального прироста | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | M±m, мм | Lim, мм | σ, мм | CV, % |
| 41 | Последующий подрост | 1986–2018 | 4,83±0,45 | 1,12...11,31 | 2,60 | 53,8 |
| | Мелкий и средний подрост | 1971–1985 | 1,27±0,15 | 0,56...2,59 | 0,57 | 45,2 |
| | | 1986–2018 | 3,85±0,22 | 1,59...6,23 | 1,26 | 32,8 |
| | Крупный подрост | 1963–1985 | 2,44±0,26 | 0,65...4,99 | 1,27 | 52,1 |
| | | 1986–2018 | 3,68±0,20 | 1,96...5,59 | 1,16 | 31,4 |
| | Тонкомер | 1957–1985 | 3,43±0,26 | 1,20...6,26 | 1,38 | 40,4 |
| | | 1986–2018 | 3,17±0,24 | 1,90...6,73 | 1,40 | 44,2 |

*Окончание табл. 3*

| ПП | Элемент древостоя до рубки | Период, лет | Статистические показатели радиального прироста | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | M±m, мм | Lim, мм | σ, мм | CV, % |
| 42 | Последующий подрост | 1986–2018 | 2,94±0,16 | 1,36...4,79 | 0,96 | 32,6 |
| | Мелкий и средний подрост | 1966–1985 | 0,70±0,07 | 0,28...1,29 | 0,30 | 43,2 |
| | | 1986–2018 | 2,01±0,11 | 0,77...3,31 | 0,65 | 32,6 |
| 42 | Крупный подрост | 1938–1985 | 1,21±0,21 | 0,08...4,91 | 1,43 | 118,4 |
| | | 1986–2018 | 2,41±0,21 | 0,71...4,60 | 1,18 | 49,1 |
| | Тонкомер | 1966–1985 | 3,83±0,24 | 1,56...5,11 | 1,07 | 27,9 |
| | | 1986–2018 | 2,97±0,30 | 0,80...6,73 | 1,74 | 58,7 |
| 43 | Последующий подрост | 1986–2012 | 3,67±0,21 | 1,57...6,36 | 1,19 | 32,4 |
| | | 2013–2018 | 1,95±0,14 | 1,36...2,28 | 0,33 | 17,2 |
| | Мелкий и средний подрост | 1976–1985 | 1,95±0,24 | 1,32...2,76 | 0,60 | 30,5 |
| | | 1986–2012 | 2,31±0,28 | 0,63...5,47 | 1,54 | 66,6 |
| | | 2013–2018 | 0,61±0,05 | 0,55...0,88 | 0,13 | 21,4 |
| | Крупный подрост | 1960–1985 | 2,86±0,24 | 0,96...4,96 | 1,13 | 39,4 |
| | | 1986–2012 | 4,09±0,18 | 1,94...5,52 | 0,98 | 23,9 |
| | | 2013–2018 | 2,41±0,16 | 1,88...2,84 | 0,40 | 16,6 |
| | Тонкомер | 1959–1985 | 3,39±0,27 | 1,01...5,94 | 1,32 | 38,9 |
| | | 1986–2012 | 3,71±0,26 | 1,19...6,94 | 1,47 | 39,8 |
| | | 2013–2018 | 1,91±0,19 | 1,16...2,44 | 0,46 | 24,2 |
| 44 | Последующий подрост | 1986–2007 | 4,25±0,24 | 2,72...7,41 | 1,17 | 27,6 |
| | | 2008–2018 | 2,38±0,30 | 1,34...4,17 | 1,00 | 42,1 |
| | Мелкий и средний подрост | 1968–1985 | 1,11±0,11 | 0,36...1,82 | 0,45 | 40,9 |
| | | 1986–2007 | 2,71±0,18 | 0,93...3,97 | 0,86 | 31,7 |
| | | 2008–2018 | 1,59±0,12 | 0,90...2,19 | 0,40 | 25,1 |
| | Крупный подрост | 1962–1985 | 1,97±0,09 | 1,18...2,89 | 0,44 | 22,5 |
| | | 1986–2007 | 3,49±0,23 | 1,83...5,07 | 1,07 | 30,8 |
| | | 2008–2018 | 2,13±0,13 | 1,46...2,72 | 0,42 | 19,8 |
| | Тонкомер | 1970–1985 | 4,01±0,33 | 1,97...6,36 | 1,34 | 33,3 |
| | | 1986–2007 | 2,75±0,31 | 0,70...5,13 | 1,47 | 53,3 |
| | | 2008–2018 | 0,69±0,09 | 0,34...1,18 | 0,30 | 42,7 |
| Уват | Мелкий и средний подрост | 1942–1987 | 0,47±0,07 | 0,07...2,58 | 0,51 | 108,4 |
| | | 1988–1994 | 1,53±0,12 | 1,17...1,91 | 0,31 | 20,5 |
| | | 1995–1998 | 2,76±0,23 | 2,29...3,16 | 0,46 | 16,7 |
| | | 1999–2003 | 2,52±0,06 | 2,36...2,68 | 0,13 | 5,3 |
| | | 2004–2018 | 2,42±0,16 | 1,64...4,03 | 0,62 | 25,7 |
| | Крупный подрост | 1945–1987 | 1,33±0,15 | 0,22...3,45 | 0,98 | 73,5 |
| | | 1988–1994 | 2,75±0,17 | 2,33...3,46 | 0,44 | 16,1 |
| | | 1995–1998 | 3,00±0,16 | 2,73...3,37 | 0,32 | 10,6 |
| | | 1999–2003 | 2,99±0,10 | 2,67...3,19 | 0,21 | 7,2 |
| | | 2004–2018 | 2,37±0,09 | 1,67...2,91 | 0,35 | 14,6 |
| | Тонкомер | 1934–1987 | 2,33±0,20 | 0,83...5,42 | 1,43 | 61,6 |
| | | 1988–1994 | 4,26±0,08 | 3,99...4,55 | 0,20 | 4,7 |
| | | 1995–1998 | 3,77±0,29 | 2,98...4,29 | 0,57 | 15,2 |
| | | 1999–2003 | 3,91±0,13 | 3,53...4,24 | 0,30 | 7,7 |
| | | 2004–2018 | 3,39±0,13 | 2,10...4,25 | 0,54 | 15,9 |

У кедра из тонкомера отмечено несущественное снижение прироста после рубки. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0115 < 0{,}05$) у тонкомера и крупного подроста по сравнению с мелким и средним подростом. В период после рубки ухода различия нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}4833 > 0{,}05$). Лесоводственный эффект у подроста обеих генераций сохраняется до сих пор, а у тонкомера он наблюдался на протяжении 25 лет.

На ПП № 42 кедровый древостой на 21 % сформировался из последующей генерации подроста, на 16 % – из мелкого и среднего подроста, на 47 % – из крупного подроста, на 16 % – из тонкомера. Рост кедра из предварительного подроста имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечено резкое (в 2–4,5 раза) увеличение радиального прироста. Разница в приросте до и после рубки у тонкомера недостоверна (критерий Вилкоксона, $p = 0{,}9702 > 0{,}05$), хотя отмечено незначительное его снижение после рубки. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0001 < 0{,}05$) у тонкомера с подростом. В период после рубки различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}3430 > 0{,}05$). Лесоводственный эффект у последующего и предварительного мелкого и среднего подростов сохраняется до сих пор (у крупного – 22 года, у тонкомера – 11 лет), т. е. просматривается связь с высотно-возрастной структурой кедра.

На ПП № 43 кедровый древостой на 20 % сформировался из последующей генерации подроста, на 7 % – из мелкого и среднего подроста, на 46 % – из крупного подроста, на 27 % – из тонкомера. Рост кедра из предварительного подроста и тонкомера имеет схожую динамику: после рубки ухода отмечены увеличение (до 1,5 раз) радиального прироста и его резкое падение (в 2–3,5 раза) после санитарной рубки 2012 г. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0287 < 0{,}05$) у тонкомера с подростом. Различия в приросте сохранились у мелкого и среднего подроста по сравнению с другими категориями в период после рубки ухода (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0014 < 0{,}05$) и после санитарной рубки (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0007 < 0{,}05$). Лесоводственный эффект у последующего подроста сохранялся на протяжении 22 лет, у мелкого и среднего – 19 лет, у крупного – 23 года, у тонкомера – 14 лет, т. е. просматривается связь с высотно-возрастной структурой кедра.

На ПП № 44 кедровый древостой на 12 % и сформировался из последующей генерации подроста, на 12 % – из мелкого и среднего подроста, на 69 % – из крупного подроста, на 7 % – из тонкомера. Кедр из предварительного подроста имеет схожую динамику роста: после первого приема ухода отмечено резкое (в 1,5–2,5 раза) увеличение радиального прироста, а после второго – его падение (в 1,5 раза). Тонкомер же на протяжении всего периода роста снижал прирост: после первого приема ухода – в 1,5 раза, после второго – в 6,5 раз. Подрост последующей генерации также достоверно снижал прирост после второго приема ухода в 2 раза. Сравнительный анализ показал, что до первого приема рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}0013 < 0{,}05$) у тонкомера с подростом. В период после первого приема рубки различия в приросте нивелировались (критерий Краскела–Уоллиса, $p = 0{,}2941 < 0{,}05$), после второго приема различия в приросте есть только у кедра из тонкомера по сравнению со всеми другими категориями (критерий Кра-

скела–Уоллиса, p = 0,0001 < 0,05). Лесоводственный эффект у последующего подроста сохранялся на протяжении 26 лет, у мелкого и среднего – 14 лет, у крупного – 16 лет, у тонкомера – 12 лет, т. е. просматривается связь с высотно-возрастной структурой кедра.

На ПП «Уват» кедровый древостой на 15 % сформировался из мелкого и среднего подроста, на 38 % – из крупного подроста, на 47 % – из тонкомера. Рост кедра всех категорий имеет схожую динамику: после первого приема рубки ухода отмечено резкое увеличение (в 2–3 раза) радиального прироста. Продолжение наращивания прироста ствола после второго приема произошло только у мелкого и среднего подроста (до 5,5 раз). Крупный подрост и тонкомер стабилизировали рост и после третьего и четвертого приемов ухода постепенно уменьшили радиальный прирост. Незначительное снижение отмечено и у мелкого и среднего подроста. Сравнительный анализ показал, что до рубки ухода радиальный прирост достоверно отличался (критерий Краскела–Уоллиса, p = 0,0001 < 0,05) у всех категорий крупности. После первого приема рубок различий в приросте крупного подроста и тонкомера не было, но они сохранялись у них по сравнению с мелким и средним подростом (критерий Краскела–Уоллиса, p = 0,0012 < 0,05). И только после второго приема ухода различия отсутствовали (критерий Краскела–Уоллиса, p = 0,5906 > 0,05), т. е. мелкий и средний подрост догнал в росте крупный подрост и тонкомер. Но после третьего приема опять он стал меньше прирастать (критерий Краскела–Уоллиса, p = 0,0441 < 0,05), а после четвертого приема различия в росте снова исчезли (критерий Краскела–Уоллеса, p = 0,9914 > 0,05). До рубки кедр находился в хорошем жизнеспособном состоянии и имел прирост, сопоставимый с приростом после первого приема рубки ухода. Это обусловило хороший и долгосрочный лесоводственный эффект, потому что прирост постоянен на протяжении всего периода роста после начала рубок ухода. Можно предположить, что, с одной стороны, рубки ухода были проведены своевременно, с другой – первый и второй приемы носили формирующий характер, а третий и четвертый – санитарный.

В целом эффект от рубок ухода высокой интенсивности – это уменьшение общего запаса и увеличение размеров остающихся деревьев (например, ПП № 41, 43 по сравнению с ПП № 42, 44). Аналогичные результаты получали и другие исследователи [20]. Однако эти выводы базируются на временно́м промежутке в 30–35 лет. По итогам 54-летнего эксперимента с разной густотой древостоя (494, 890, 1680 шт./га) [14] можно костатировать, что различия в древесном запасе невелики. Суть ранних некоммерческих рубок ухода сводится к тому, чтобы сконцентрировать прирост на немногих устойчивых деревьях или на многих с неустойчивой динамикой роста. В большинстве случаев не получается на раннем этапе диагностировать деревья-лидеры с устойчивым ритмичным ростом, поэтому компенсационный прирост не всегда нивелирует разницу между контрольными объектами и секциями с уходом. Хотя, если брать во внимание не только стволовую древесину, но и всю фитомассу, то существенных различий может и не быть даже на ранних этапах после рубок ухода. На первый взгляд, при формировании кедросадов это обстоятельство не имеет решающего значения, однако представляет первостепенную важность оставление максимального числа деревьев с устойчивым ростом, которые обеспечат раннее, постоянное и стабильное семеношение.

Безусловно, что величина и продолжительность отклика на лесоводственное воздействие зависят в большей степени от интенсивности ухода нежели от его вида [7], но наши данные, подтвердив вышеприведенную закономерность, также показали, что имеет значение и структурная организация насаждений. Долевое участие тех или иных элементов древостоя может нивелировать результат рубки ухода. Например, морфолого-таксационные показатели насаждения на момент закладки эксперимента на секции ТЛОС 50 оказались выше, чем на ТЛОС 75 (выше участие более низкорослого подроста высотой до 1,5 м и меньше тонкомера), что привело на момент обследования к практически аналогичной динамике радиального прироста и даже более высоким таксационным показателям у древостоя на секции ТЛОС 50. Также данная особенность организации сообществ сглаживает и лесоводственный эффект, который выражается не только в дополнительном световом приросте, но, что немаловажно, в продолжительности периода повышенного радиального прироста, который со временем уменьшается [18]. Систематические рубки ухода способны поддерживать выровненную динамику роста (например, на ПП «Уват»).

Время начала реакции на рубки ухода различно: как правило, более молодые деревья начинают увеличивать радиальный рост раньше, практически сразу после рубки, а более возрастным особям требуется некоторый промежуток времени. На скорость реагирования влияет и множество других факторов, но механизм влияния одинаков для всех деревьев. Например, исследованиями зарубежных авторов [21] установлено, что рост биомассы корней черной ели *Picea mariana* Mill. улучшился в первые 4 года после рубки ухода, в то время как реакция роста стволов была отложена и продолжалась еще 10 лет. Ситуация с ассимилирующими органами аналогична. Результаты исследований ученых из Китая [22] показали, что в первые 3 года достоверно увеличивается крона, а на 3–5-й год – диаметр ствола.

В связи с этим интересный вывод был сделан в работе коллектива авторов из США [4], которые установили, что время проведения рубок ухода необходимо корректировать по возрасту насаждения и другим признакам, отвечающим за эффективность использования лучистой энергии. Теоретически, более молодые деревья и древостои, как правило, имеют больший потенциал ассимилировать биомассу после освобождения от конкуренции [13], что наблюдается и на ПП «Химуход». Однако реализация этой закономерности справедлива в случае, когда возрастные поколения обладают сопоставимыми биометрическими размерами. С биологической точки зрения доминантные деревья с большими кронами демонстрируют минимальную (относительную) реакцию на изреживание, что помогает им поддерживать быстрый темп роста, в то время как менее развитые (угнетенные) деревья показывают относительно больший отклик [12], в абсолютном выражении доминирующие деревья увеличивают свой диаметр в большей степени, чем угнетенные [10]. Хотя из этой закономерности есть обоюдные исключения. Например, при низкоинтенсивных рубках в сильно перегущенных древостоях (ПП ТЛОС) именно старовозрастной тонкомер более всего отреагировал на изреживание, а при высокоинтенсивных рубках (серия ПП ПЛСУ) – мелкий и средний подрост догнал в росте крупный подрост и тонкомер. Данная новая закономерность расширяет возможности регулирования структуры кедросадов лесоводственными методами.

Приведенные примеры показывают, как при улучшении фитоценотических условий за счет увеличения доступности ресурсов может происходить усиление асимметричной конкуренции [19], когда более крупные особи получают непропорционально бóльшую долю ресурсов и подавляют рост менее развитых особей [3, 15]. Данный биологический процесс начинается по мере того, как древесный полог постепенно смыкается, конкуренция увеличивается и деревья-лидеры подавляют рост менее развитых путем перехвата ресурсов питания. Чем выше густота древостоя и плодородие почвы, тем скорее начинается этот процесс [5] и тем выше становится неравенство в древостое. С течением времени асимметричная конкуренция может приводить к снижению роста всего древостоя [16], как произошло на серии ПП ТЛОС.

Еще одно интересное наблюдение заключается в том, что проведение рубки ухода в момент, когда молодняк характеризуется активным ростом, может усиливать эффект от рубки ухода и, в случае с кедром сибирским, приводить к более раннему вступлению в семеношение. В данном случае изреживание уменьшает конкуренцию между остающимися деревьями и тем самым поддерживает или увеличивает темпы роста, либо предотвращает их снижение, которое могло произойти без лесоводственного вмешательства [9].

В результате анализа строения кедровников по элементам леса обращает на себя внимание присутствие на ряде ПП (ТЛОС 75, серия ПП ПЛСУ) значимой доли кедра сибирского, возникшего из последующего возобновления. Общим для этих объектов являются высокоинтенсивные рубки ухода. Как правило, при проведении рубок ухода, особенно при формировании кедросадов, стремятся равномерно оставлять деревья-лидеры, и наши экспериментальные объекты не исключение. Тем самым исходная пространственная структура из ярко выраженной групповой трансформировалась в более регулярную. Отмеченное появление новых генераций кедра сибирского показывает, что кедросады имеют потенциал для буферизации последствий рубок ухода на пространственном уровне. Ранее аналогичная закономерность была показана для лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. в Монголии [6].

## *Заключение*

Обобщение опыта по направленному формированию кедровников в зоне оптимума произрастания на Западно-Сибирской равнине (Тюменская область и ХМАО-Югра) показало, что при различных режимах рубок ухода можно создавать кедросады разных типов в зависимости от целевого назначения и материально-технического обеспечения. Установлено, что экстенсивные кедросады (типа ПЛСУ) формируются как при интенсивных, так и при систематических рубках ухода. В этом случае средний радиальный прирост колеблется в пределах от 3 до 5 мм/год, что обеспечивает не только ритмичный поступательный рост, но и развитие, поскольку по истечении 30–35 лет практически все деревья уже вступили в генеративную фазу и активно семеносят. Однократные, особенно рубки с малой (менее 50 %) выборкой, приводят к формированию интенсивных кедросадов (типа таежных кедровников) со средним приростом ствола от 2 до 3 мм/год. Перегущенность древостоя не только снижает радиальный прирост у кедра сибирского, но и замедляет скорость протекания онтогенетических

стадий и фаз. В результате в этих кедросадах присутствуют деревья, которые еще ни разу не давали урожая шишек.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Алексеев Ю.Б., Мишуков Н.П., Седых В.Н.* Размещение деревьев в семенных участках кедра сибирского // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1978. Вып. 5. С. 59–67. [Alekseyev Yu.B., Mishukov N.P., Sedykh V.N. Placing Trees in Seed Orchards of Siberian Pine. *Genetics, Breeding, Seed Production and Introduction of Forest Species*. Voronezh, TsNIILGiS Publ., 1975, vol. 5, pp. 59–67].

2. *Воробьев В.Н.* Рост и начало генеративной фазы кедра сибирского // Интродукция древесных растений и вопросы семеноводства древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов. Новосибирск, 1981. С. 179–181. [Vorob'yev V.N. Growth and the Beginning of Generative Phase of Siberian Pine. *Introduction of Forest Plants and Issues of Seed Production of Tree Species as a Basis for the Creation of Highly Productive Forests*. Novosibirsk, 1981, pp. 179–181].

3. Binkley D., Stape J.L., Bauerle W.L., Ryan M.G. Explaining Growth of Individual Trees: Light Interception and Efficiency of Light Use by *Eucalyptus* at Four Sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, pp. 1704–1713. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.05.037

4. Bose A.K., Weiskittel A., Kuehne C., Wagner R.G., Turnblom E., Burkhart H.E. Does Commercial Thinning Improve Stand-Level Growth of the Three Most Commercially Important Softwood Forest Types in North America? *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 409, pp. 683–693. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.12.008

5. Caplat P., Anand M., Bauch C. Symmetric Competition Causes Population Oscillations in an Individual-Based Model of Forest Dynamics. *Ecological Modelling*, 2008, vol. 211, iss. 3-4, pp. 491–500. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.10.002

6. Gradel A., Ammer C., Ganbaatar B., Nadaldorj O., Dovdondemberel B., Wagner S. On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczev) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 4, art. 105. DOI: 10.3390/f8040105

7. Kuehne C., Weiskittel A.R., Wagner R.G., Roth B.E. Development and Evaluation of Individual Tree- and Stand-Level Approaches for Predicting Spruce-Fir Response to Commercial Thinning in Maine, USA. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 376, pp. 84–95. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.06.013

8. Novák J., Dušek D., Slodičák M., Kacálek D. Importance of the First Thinning in Young Mixed Norway Spruce and European Beech Stand. *Journal of Forest Science*, 2017, vol. 63, no. 6, pp. 254–262. DOI: 10.17221/5/2017-JFS

9. Omari K., MacLean D.A., Lavigne M.B., Kershaw J.A., Adams G.W. Effect of Local Stand Structure on Leaf Area, Growth, and Growth Efficiency Following Thinning of White Spruce. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 368, pp. 55–62. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.03.005

10. Peltola H., Miina J., Rouvinen I., Kellomäki S. Effect of Early Thinning on the Diameter Growth Distribution along the Stem of Scots Pine. *Silva Fennica*, 2002, vol. 36, no. 4, art. 523, pp. 813–825. DOI: 10.14214/sf.523

11. Puettmann K.J., Wilson S.M., Baker S.C., Donoso P.J., Drössler L., Amente G., Harvey B.D., Knoke T., Lu Y., Nocentini S., Putz F.E., Yoshida T., Bauhus J. Silvicultural Alternatives to Conventional Even-Aged Forest Management – What Limits Global Adoption? *Forest Ecosystems*, 2015, vol. 2, art. 8. DOI: 10.1186/s40663-015-0031-x

12. Pukkala T., Miina J., Kellomäki S. Response to Different Thinning Intensities in Young *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1998, vol. 13, iss. 1-4, pp. 141–150. DOI: 10.1080/02827589809382970

13. Ryan M.G., Binkley D., Fownes J.H. Age-Related Decline in Forest Productivity: Pattern and Process. *Advances in Ecological Research*. Ed. by M. Begon, A.H. Fitter. San Diego, Academic Press, 1997, vol. 27, pp. 213–262. DOI: 10.1016/S0065-2504(08)60009-4

14. Schaedel M.S., Larson A.J., Affleck D.L.R., Belote R.T., Goodburn J.M., Wright D.K., Sutherland E.K. Long-Term Precommercial Thinning Effects on *Larix occidentalis* (Western Larch) Tree and Stand Characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47, no. 7, pp. 861–874. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0074

15. Schwinning S., Weiner J. Mechanisms Determining the Degree of Size Asymmetry in Competition among Plants. *Oecologia*, 1998, vol. 113, iss. 4, pp. 447–455. DOI: 10.1007/s004420050397

16. Soares A.A.V., Leite H.G., Souza A.L., Silva S.R., Lourenço H.M., Forrester D.I. Increasing Stand Structural Heterogeneity Reduces Productivity in Brazilian *Eucalyptus* Monoclonal Stands. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 373, pp. 26–32. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.04.035

17. Štefančík I. Development of Target (Crop) Trees in Beech (*Fagus sylvatica* L.) Stand with Delayed Initial Tending and Managed by Different Thinning Methods. *Journal of Forest Science*, 2013, vol. 59, no. 6, pp. 253–259. DOI: 10.17221/9/2013-JFS

18. Tasissa G., Burkhart H.E. Modeling Thinning Effects on Ring Width Distribution in Loblolly Pine (*Pinus taeda*). *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, vol. 27, no. 8, pp. 1291–1301. DOI: 10.1139/x97-092

19. Thomas S.C., Halpern C.B., Falk D.A., Liguori D.A., Austin K.A. Plant Diversity in Managed Forests: Understory Responses to Thinning and Fertilization. *Ecological Applications*, 1999, vol. 9, iss. 3, pp. 864–879. DOI: 10.1890/1051-0761(1999)009[0864:PDIMFU]2.0.CO;2

20. Valinger E., Sjögren H., Nord G., Cedergren J. Effects on Stem Growth of Scots Pine 33 Years after Thinning and/or Fertilization in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2018, vol. 34, iss. 1, pp. 33–38. DOI: 10.1080/02827581.2018.1545920

21. Vincent M., Krause C., Zhang S.Y. Radial Growth Response of Black Spruce Roots and Stems to Commercial Thinning in the Boreal Forest. *Forestry*, 2009, vol. 82, iss. 5, pp. 557–571. DOI: 10.1093/forestry/cpp025

22. Zeng J., Lei Y.-C., Jia H.-Y., Cai D.-X., Tang J.-X. Dynamic Growth Response of *Pinus massoniana* Plantation on Intensive Thinning in Southwestern Guangxi, China. *Forest Research*, 2017, vol. 30, iss. 2, pp. 335–341. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.02.021

## DINAMICS OF THE RADIAL GROWTH OF SIBERIAN PINE *Pinus sibirica* Du Tour UNDER DIFFERENT THINNING MODES

***N.M. Debkov*[1,2]**, *Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: H-1146-2019, ORCID: 0000-0003-3791-0369*

[1]Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, prosp. Akademicheskiy, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

[2]All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow Region, 141202, Russian Federation

Creation and formation of Siberian pine forests for various purposes, and especially Siberian pine seed orchards, is an urgent issue of Russian forestry. The article deals with the dynamics of the radial growth of Siberian pine *Pinus sibirica* Du Tour trees after thinning with different modes (method, number of methods, etc.). The analysis was performed both at the stand, and tree levels. The studies were carried out at the experimental plots located in the Khanty-Mansiysk autonomous district and Tyumen region in the middle taiga subzone. As a result

of the research it has been established that the response of Siberian pine to thinning depends on intensity, number of methods and timing, as well as on age and morphological structure of Siberian pine on clearings and under the canopy of secondary forests. It was found that extensive (low density) Siberian pine seed orchards are formed both under intensive and systematic thinning. In this case, the average radial growth ranges from 3 to 5 mm/yr, which provides not only a rhythmic progressive growth, but also physiological development. Thereby, after 30–35 years substantially all trees have already entered the generative phase and actively seeding. Single thinning, especially with small selection (less than 50 %) leads to the formation of intensive (high density) seed orchards with an average growth of trunk from 2 to 3 mm/yr. Overgdense, aside from reduction of Siberian pine radial growth, slows down the rate of ontogenetic stages and phases. As a result, in these seed orchards there are trees that have never given cones.

***For citation:*** Dynamics of the Radial Growth of Siberian Pine *Pinus sibirica* Du Tour under Different Thinning Modes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 9–24. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.9

*Keywords*: Siberian pine *Pinus sibirica* Du Tour, thinning, structure of stands, radial growth of trunk, Western Siberia.

Поступила 15.01.19 / Received on January 15, 2019

УДК 630.181.51:58.085
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.25

# ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАЗМНОЖЕННЫХ *IN VITRO* КЛОНОВ ОСИНЫ (*Populus tremula L.*): РОСТ, ПРОДУКТИВНОСТЬ, КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ, ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

***О.С. Машкина*[1,2]*, канд. биол. наук, доц.;*** *ResearcherID: H-7362-2014, ORCID: 0000-0001-8252-2192*
***Е.А. Шабанова*[1]*, науч. сотр.;*** *ORCID: 0000-0003-3795-2702*
***И.Н. Вариводина*[1]*, канд. техн. наук, доц.;*** *ResearcherID: H-9040-2017, ORCID: 0000-0002-0351-8898*
***Т.А. Гродецкая*[1,2]*, мл. науч. сотр., аспирант;*** *ResearcherID: S-8770-2019, ORCID: 0000-0002-5448-2792*
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: mashkinaos@mail.ru, katy-green2009@yandex.ru, varivodinna@rambler.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru
[2]Воронежский государственный университет, Университетская площадь, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394018; e-mail: mashkinaos@mail.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru

Широкое внедрение в лесокультурное производство высокопродуктивных и гнилеустойчивых форм и гибридов осины (*Populus tremula* L.) сдерживается отсутствием эффективных методов их вегетативного размножения. Достижения современной лесной биотехнологии позволяют проводить клонирование *in vitro* экономически ценных генотипов осины и получать посадочный материал для плантационного лесовыращивания. Изучение особенностей проявления ценных признаков и генетической стабильности размноженных *in vitro* клонов в полевых условиях (*ex vitro*) важно для разработки эффективных и надежных методов клонирования, гарантирующих сохранение генетической и хозяйственной ценности материнских деревьев для их устойчивого и целевого воспроизводства. Представлены результаты оценки генетической стабильности, динамики роста, продуктивности и качества древесины трех размноженных *in vitro* клонов осины (6/3, 15/01 и 20/4) в полевых условиях. Микроразмножение осуществляли путем прямого органогенеза с использованием безгормональных питательных сред, что способствовало уменьшению вероятности возникновения сомаклональной изменчивости при культивировании *in vitro*. По итогам 17-летних полевых испытаний клоны демонстрируют хороший рост и достаточно высокую продуктивность древостоев, сохраняют ростовые особенности материнских деревьев, не проявляют признаков сомаклональной изменчивости. В возрасте 17 лет средняя высота деревьев составила 18...20 м; диаметр ствола – 25...30 см; объем ствола – 0,391...0,553 м$^3$; запас древесины на 1 га при размещении деревьев 4×4 м и сохранности 44...71 % – 111...227 м$^3$/га. Выявлена высокая генетическая стабильность клонов (по микросателлитным локусам, уровню плоидности и миксоплоидии) в условиях *in vitro* и *ex vitro*. Показано, что более высокой сохранностью и лучшими показателями качества древесины (по плотности и длине волокна) отличается триплоидный клон 15/01, имеющий выраженную миксоплоидную природу. Это может быть связано с оптимальным сбалансированным соотношением у него клеток разного уровня плоидности (триплоидных, диплоидных и анеуплоидных), которое обеспечивает наиболее эффективную экспрессию генов в конкретных условиях среды.

***Для цитирования:*** Машкина О.С., Шабанова Е.А., Вариводина И.Н., Гродецкая Т.А. Полевые испытания размноженных *in vitro* клонов осины (*Populus tremula* L.): рост,

продуктивность, качество древесины, генетическая стабильность // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 25–38. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.25

*Ключевые слова: Populus tremula* L., клонирование *in vitro*, полевые испытания, хромосомный и микросателлитный анализ.

## *Введение*

Осина, или тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), является одной из широко востребованных в мире быстрорастущих и скороспелых древесных пород. Ее древесина используется для целлюлозно-бумажной промышленности, спичечного и фанерного производства, изготовления пиломатериалов, древесно-стружечных и ориентировано-стружечных плит, биотоплива и др. [6, 12, 18, 34]. Из-за своей влагостойкости и долговечности древесина осины ценится в строительстве. Благодаря высокой корнеотпрысковой способности, она быстро заселяет гари, вырубки, брошенные пашни, используется для укрепления оврагов, лесомелиорации пойм, полезащитного разведения и других целей. В России осина – лесообразующая порода, среди мягколиственных пород занимающая второе место по распространенности после березы.

Серьезным недостатком древесины осины, ограничивающим ее применение, является подверженность сердцевинной гнили, вызываемой осиновым трутовиком (*Phellinus tremulae* Bond. et Boris) [12], что приводит к фаутности насаждений и снижению выхода деловой древесины. Широкое же внедрение в лесокультурное производство отселектированных в природе или искусственно полученных быстрорастущих (в том числе триплоидных исполинских) высокопродуктивных гнилеустойчивых форм и гибридов сдерживается отсутствием эффективных методов их вегетативного размножения. Размножение взрослых экземпляров осины прививками и черенками трудоемко и малоэффективно. Осинники же порослевого происхождения (от корневых отпрысков) часто поражаются гнилью [5, 6].

Современные достижения лесной биотехнологии позволяют проводить клонирование *in vitro* ценных трудно размножаемых генотипов осины [1, 20, 22, 25, 30, 32, 38] и получать посадочный материал для плантационного лесовыращивания [3, 15, 19, 32]. Плантационное лесовыращивание с использованием быстрорастущих пород направлено на создание в кратчайшие сроки высокопродуктивных насаждений и удовлетворение потребности в сырье. Оно предполагает интенсивное лесопользование, позволяющее сохранять естественные леса [31]. Положительный опыт создания плантационных культур клонированным *in vitro* посадочным материалом ценных быстрорастущих и гнилеустойчивых генотипов осины имеется как за рубежом [7, 34, 36], так и в нашей стране [3, 5, 10].

Для ожидаемого лесоводственного и экономического эффекта предлагаемые биотехнологические разработки перед внедрением должны проходить опытно-производственную проверку. Примеры селекционной оценки микроразмноженных клонов в полевых условиях немногочисленны. Так, было показано, что в Республике Татарстан размноженные *in vitro* клоны триплоидной осины в возрасте 4 лет росли вдвое быстрее диплоидных [3]. Исследование хода роста 8-летних культур триплоидной осины в Ленинградской области выявило, что скорость роста определяется категорией лесного участка, лесорас-

тительными условиями и способом обработки почвы [5]. Сходные результаты получены в Беларуси при изучении сохранности и динамики роста быстрорастущего клона осины в возрасте 1–6 лет [7]. Исследователи из Финляндии [28] продемонстрировали преимущества летней посадки микроклонов осины в теплицу по сравнению с весенней и осенней. Латвийские ученые показали, что рост микроразмноженных клонов осины в значительной степени зависит от их генетических свойств. Так, продуктивность клонов гибридной осины (*P. tremula* L. × *Populus tremuloides* Minchx.) была в 2,5 раза выше по сравнению с осиной обыкновенной (*P. tremula* L.) [36].

Тем не менее еще недостаточно изучены особенности проявления ценных признаков, а также генетическая стабильность размноженных *in vitro* клонов в полевых условиях (*ex vitro*). Это важно для разработки эффективных и надежных методов клонального микроразмножения различных генотипов осины, гарантирующих сохранение генетической и хозяйственной ценности материнских деревьев для их устойчивого и целевого воспроизводства.

Опытные плантационные культуры продуктивных и гнилеустойчивых биотипов осины были заложены нами в 2001 г. в Воронежской области [11]. Их возраст в настоящее время – 19 лет (после высадки микрорастений в полевые условия). Это самые старые культуры осины в России, созданные на основе клонального микроразмножения.

Цель исследования – оценка динамики роста, продуктивности, качества древесины и генетической стабильности размноженных *in vitro* клонов осины в полевых условиях для подтверждения возможности использования этой технологии для выращивания посадочного материала и создания продуктивных плантационных культур целевого назначения.

### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования служили опытные плантационные культуры трех размноженных *in vitro* клонов осины (6/3, 15/01 и 20/4), созданные регенерантами в Семилукском лесопитомнике Воронежской области в 2001 г. Всего 234 растения. Размещение посадочных мест 4×4 м, в трех повторностях. Исходные деревья отобраны Ю.Н. Исаковым по продуктивности, прямизне ствола и устойчивости к гнили в тремулетуме Семилукского питомника, заложенном В.П. Петрухновым в 1973–1975 гг. прививкой лучших исполинских клонов осины из Латвии, Воронежской (клоны $X_4$ (15/01) и $X_6$ (6/3)), Курской (клон 20/4)), Костромской и других областей [11, 18].

Регенерацию растений в культуре *in vitro* осуществляли путем прямого органогенеза из одноузловых эксплантов летних неодревесневших побегов по разработанной нами методике [11]. Для уменьшения вероятности возникновения сомаклональной изменчивости на этапах клонирования *in vitro* и хранения коллекции использовали питательную среду WPM (или 1/2 WPM) [27] без гормонов с добавлением активированного угля (1,5 %). Микрорастения в почвенный субстрат (торф : песок – 1 : 1) переводили путем прямой высадки микрорастений из пробирочной культуры в теплицу (рис. 1), где их доращивали в течение двух лет.

Анализ сохранности и хода роста клонов осины проводили в многолетней динамике в интервале 3–17 лет (2003–2009, 2014 и 2017 гг.). Объем стволов

определяли по объемным таблицам для тополя [24]. Запас древесины, который является наиболее значимым показателем производительности древостоев, поскольку характеризует быстроту их роста как в высоту, так и по диаметру [18], вычисляли с учетом фактической сохранности клонов.

Рис. 1. Общий вид микроразмноженных растений осины в условиях *in vitro* (*а*) и *ex vitro* в теплице (*б*) и питомнике в возрасте 14 (*в*) и 17 лет (*г*, *д*)

Fig. 1. Micropropagated plants of aspen *in vitro* (*а*) and *ex vitro* in the green house (*б*) and nursery at the age of 14 (*в*) and 17 (*г*, *д*)

Генетическую стабильность оценивали по данным хромосомного и микросателлитного анализа растений одних и тех же клонов, находящихся в коллекции *in vitro*, высаженных в питомник (полевые условия), в сравнении с их материнскими деревьями. Число хромосом и уровень миксоплоидии (процент клеток с числом хромосом, отклоняющимся от модального диплоидного ($2n = 2x = 38$) или триплоидного ($2n = 3x = 57$) набора хромосом) определяли в меристеме кончиков корешков микрорастений (*in vitro*) или молодых листьев из распускающихся почек вегетирующих растений (*ex vitro*). Давленые препараты, окрашенные ацетогематоксилином, изготавливали по методике [16]. Просмотр микропрепаратов осуществляли на микроскопе «Микмед 6» при увеличении 40×1,5×10 и 100×1,5×10. Для микрофотосъемки использовали цифровую камеру окуляра DCM500. Критерием для отнесения растения к тому или иному

уровню плоидности являлось преобладание (свыше 60 %) клеток с определенным числом хромосом.

Экстракцию ДНК осуществляли CTAB-методом [21], генетическую паспортизацию образцов – по 5 высокополиморфным ядерным SSR-локусам: PTR5, PTR7, PTR8, PTR12, PTR14 [33]. Полимеразно-цепную реакцию проводили на приборе Gene Max Tc-s. Параметры амплификации: 94 °С – 3 мин; 94 °С – 20 с; 55 °С – 20 с; 72 °С – 20 с.

Качество древесины оценивали по ее плотности и структурным характеристикам древесинных волокон. Базисную плотность древесины определяли способом максимальной влажности, разработанным для образцов небольшого объема. Плотность древесины в абс. сухом состоянии оценивали стереометрическим методом [13]. Для определения структурных характеристик древесинных волокон проводили мацерацию образцов методом Франклина [26]. Длину и диаметр древесинных волокон измеряли на микроскопе Carl Zeiss Axio Vert A1 при помощи программы Zen в 100-кратной повторности для каждого образца. Сердцевинную гниль диагностировали визуально на кернах (отобрано 98 шт.), заготовленных с помощью возрастного бурава в комлевой части дерева на высоте 1,3 м.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Оценку сохранности и роста размноженных *in vitro* клонов осины проводили в полевых условиях в многолетней динамике (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

**Показатели роста и продуктивности размноженных *in vitro* клонов осины в возрасте 17 лет**

| Клон | Сохранность, % | Высота, м | Диаметр, см | Объем ствола м$^3$ | Запас древесины, м$^3$/га | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | *in vitro* клонов | исходных деревьев** |
| 6/3 | 65,8 | 19,7 ± 0,2 | 29,6 ± 0,8 | 0,553 | 227,4 | 644,0 |
| 15/01 | 71,4 | 19,2 ± 0,2 | 25,1 ± 0,3* | 0,391 | 174,4 | 434,0 |
| 20/4 | 44,4 | 18,0 ± 0,1* | 26,0 ± 0,5* | 0,401 | 111,3 | 322,0 |

Примечание. *Различия с клоном 6/3 по высоте и диаметру достоверны при $P < 0,01$. **Запас древесины исходных деревьев в возрасте 40 лет по данным [18].

Глобальное изменение климата привело к увеличению числа засух в центральной части России, которые оказали негативное влияние и на древесные растения. Приживаемость микроклонов в полевых условиях (в год слабой засухи) была достаточно высокой (70...98 %). Наибольшее количество усохших деревьев было отмечено после аномально жаркого и сухого 2010 г. Засуху 2010 г. относят к годам климатического экстремума, когда погодный стресс превысил адаптивную норму реакции [8]. Сохранность клонов к 17-летнему возрасту составила от 44 (клон 20/4) до 71 % (клон 15/01).

На протяжении всего периода изучения лучшим ростом в высоту отличались клоны 6/3 и 15/01. Первые 8 лет после высадки растений в питомник лидировал клон 6/3, статистически достоверно отличаясь по высоте от клонов 15/01 и 20/4. В возрасте 9–17 лет клон 6/3 лидировал и по диаметру ствола. Сходная динамика роста отмечена и у материнских деревьев в возрасте 40 лет [18] (табл. 1).

В возрасте 17 лет средняя высота клонов составила 18...20 м, диаметр ствола – 25...30 см; объем ствола – 0,391...0,553 м$^3$; запас древесины на 1 га при размещении деревьев 4×4 м и сохранности 44...71 % – 111...227 м$^3$/га. Причем на протяжении первых 5 лет размноженные *in vitro* клоны характеризовались лучшим ростом и более высокой внутриклоновой однородностью (коэффициент вариации по высоте – 4...7 %, диаметру – 10...19 %) по сравнению с корнесобственными деревьями (семенного происхождения), произрастающими на этом же участке [11].

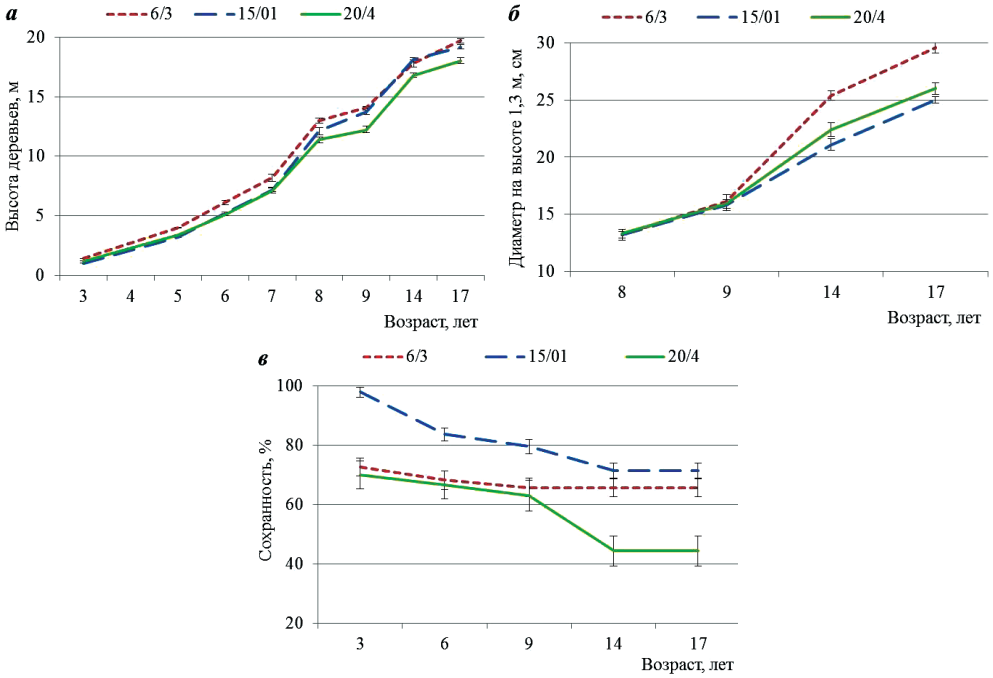



Рис. 2. Динамика роста в высоту (*а*) и по диаметру (*б*), сохранности (*в*) размноженных *in vitro* клонов осины в полевых условиях

Fig. 2.Dynamics of height (*а*) and diameter growth (*б*), and survivability (*в*) of propagated aspen clones *in vitro* in the field

Количественная спелость осиновых лесов наступает к 25–30 годам, техническая – к 35. Так, в 24-летнем возрасте средняя высота лучших форм и гибридов осины в Воронежской области достигает 16,5...25,0 м, диаметр на высоте груди – 20...38 см, объем ствола – 0,3...0,9 м$^3$ [18]. Высота гибридных клонов осины в возрасте 18 лет в условиях Латвии составляет 21,6±0,84 м, объем ствола – 0,32 м$^3$ [37].

Таким образом, по итогам 17-летних полевых испытаний размноженные *in vitro* клоны осины демонстрируют хороший рост и достаточно высокую продуктивность древостоев, характеризуются внутриклоновой однородностью по росту, сохраняют ростовые особенности материнских деревьев, не проявляют признаков сомаклональной изменчивости.

При оценке качества древесины осины большое значение имеет ее плотность, которая коррелирует с механическими свойствами древесины [36]. Этот показатель используют для прогнозирования свойств бумаги и древесно-стружечных плит. Плотность древесного сырья определяет выход целлюлозы [13].

В производстве целлюлозы, бумаги и других продуктов переработки древесины большое значение придается длине и толщине древесинных волокон. Так, повышенная длина волокна является одним из важных показателей пригодности древесины для бумажного производства.

Известно, что у осины относительно плотная древесина формируется к возрасту 20–25 лет [13]. Длина ее волокон находится в диапазоне 0,55...1,60 мм [17].

Как следует из табл. 2, древесина размноженного *in vitro* клона 15/01 уже в возрасте 17 лет обладает близкими к контролю (к справочным значениям для древесины осины, произрастающей в Центральном районе европейской части России) показателями плотности. Средняя плотность древесины в абс. сухом состоянии у клона 15/01 составляет 439 кг/м$^3$ (против 455 кг/м$^3$ в контроле), базисная – 383 кг/м$^3$ (против 389 кг/м$^3$ в контроле). Этот же клон характеризуется более длинными (по сравнению с клонами 6/3 и 20/4) волокнами – 1,73± 0,07 мм (с варьированием от 1,23 до 2,35 мм) при среднем диаметре волокна 23,3±3,5 мкм (рис. 3).

Таблица 2

**Показатели качества древесины размноженных *in vitro* клонов осины в возрасте 17 лет**

| Клон | Плотность древесины, кг/м$^3$ | | Структурные характеристики древесинных волокон, мм | |
|---|---|---|---|---|
| | в абс. сухом состоянии | базисная | Длина | Диаметр |
| 6/3 | 392±5,6** | 340±5,5** | 1,30±0,06** | 24,1±3,7 |
| 15/01 | 439±4,7 | 383±4,6 | 1,73±0.07 | 23,3±3,5 |
| 20/4 | 427±4,7 | 368±4,1* | 1,37±0,09** | 24,0±5,1 |

Примечание. Справочное значение плотности древесины осины, произрастающей в Центральном районе европейской части России: в абс. сухом состоянии $\rho_0$ = 455 кг/м$^3$; базисная $\rho_б$ = 389 кг/м$^3$ [13]. Различия с клоном 15/01 достоверны при P* < 0,5; P**< 0,01.

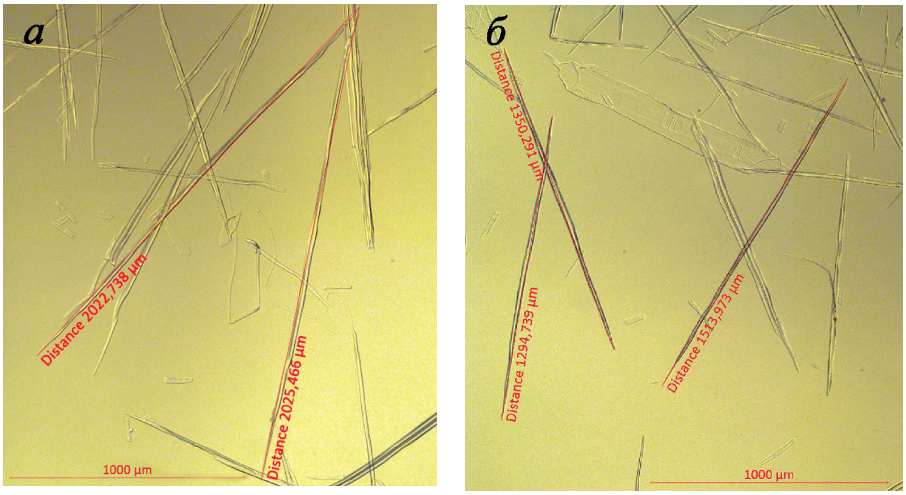



Рис. 3. Древесинные волокна (либриформа и волокнистых трахеид) размноженных *in vitro* клонов под световым микроскопом: *а* – клон 15/01; *б* – клон 6/3

Fig. 3. Wood fibers (libriform and fibre tracheids) of propagated aspen clones *in vitro* under the light microscope: *а* – clone 15/01; *б* – clone 6/3

Нами отмечены возрастные изменения плотности древесины изученных клонов. Так, у клона осины 15/01 за 4 года (с 2014 по 2018 г.) базисная плотность увеличилась на 15 %, у клонов 20/4 и 6/3 – на 4 и 10 % соответственно. Можно прогнозировать дальнейшее увеличение плотности древесины с возрастом клонов.

Одной из самых опасных и распространенных болезней ствола осины, существенно понижающих качество древесины, является сердцевинная гниль. Поврежденность деревьев стволовой гнилью начинается со II класса возраста, достигая к 70...75 годам 100 % [1, 4, 6, 12, 18]. Зараженность деревьев трутовиком чаще всего определяют по наличию плодовых тел гриба, загнивающих и табачных сучьев на дереве и другим внешним признакам [1, 4, 12, 18]. Так, по данным Царева и др. [18], пораженность стволов трутовиком у осинников в лесах Центрально-Черноземного района во II классе возраста составляет 0,6 %, а в VII – 90,4 % [18].

При обследовании 17-летних деревьев, произрастающих на участке (234 шт.), плодовые тела трутовика нами не были выявлены. При визуальном осмотре изъятых образцов (98 кернов) отмечены признаки пораженности сердцевинной гнилью единичных деревьев клонов 6/3 и 20/04 (общий процент – 1,8 %) и их полное отсутствие у клона 15/01.

Повышенная длина волокна у клона 15/01, а также его более высокая (по сравнению с клонами 6/3 и 20/4) устойчивость к стволовой гнили, может быть связана с триплоидной природой ($2n = 57$). Триплоиды часто проявляют эффект гетерозиса [1, 23, 35] и отличаются высокой продуктивностью и устойчивостью [1]. У остальных клонов (которые оказались диплоидами, $2n = 38$) эти показатели были существенно ниже.

По данным хромосомного анализа микроразмноженный клон 15/01 (как и его материнское дерево) имеет миксоплоидную природу триплоид-диплоидного типа с преобладающим содержанием (64...66 %) в соматической ткани клеток с 57 хромосомами (табл. 3, рис. 4.). Клон 15/01 демонстрирует цитологическую стабильность как в условиях *in vitro* (в коллекции), так и *ex vitro* (у 15-летних деревьев, произрастающих в питомнике). Об этом свидетельствует сохранение у него плоидности, уровня миксоплоидии (34...37 %) и соотношения триплоидных и диплоидных клеток в соматической ткани. Сходный уровень миксоплоидии был и у материнского дерева (33 %).

Таблица 3

**Плоидность и уровень миксоплоидии размноженных in vitro клонов осины**

| Клон | Образец, место нахождения | Доля клеток с числом хромосом, % | | | Уровень миксоплоидии, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $2n = 38$ | $2n = 57$ | анеуплоидные | |
| 6/3** | Коллекция *in vitro* | 85,0 | – | 15,0 | 15,0±0,9 |
| | Питомник | 85,0 | 5,0 | 15,0 | 20,0±1,8 |
| 15/01 | Материнское дерево, 40 лет | 33,3 | 66,7 | – | 33,3 |
| | Коллекция *in vitro* | 32,7 | 63,7 | 3,6 | 36,3±1,2 |
| | Питомник | 34,1 | 65,9 | – | 34,1±0,9 |
| 20/4** | Питомник | 92,7 | – | 7,3 | 7,3±0,8 |

Примечание. Возраст анализируемых деревьев в питомнике – 15 лет. Различия с клоном 15/01 по уровню миксоплоидии достоверны при **$P < 0,01$.

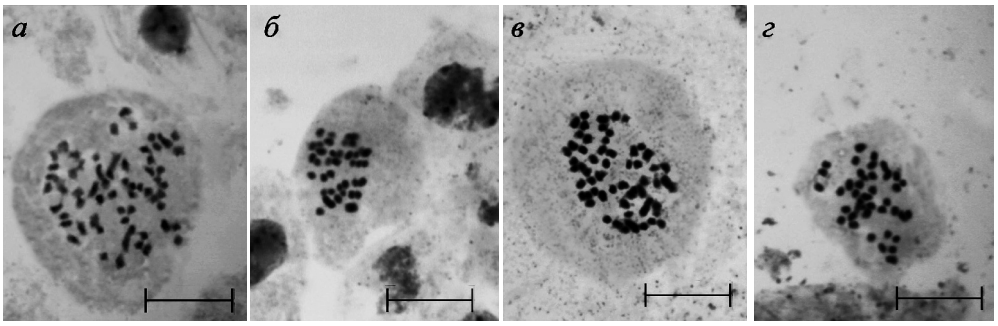



Рис. 4. Метафазные пластинки размноженного *in vitro* миксоплоидного клона осины 15/01 (*а*, *б*) и его материнского дерева (*в*, *г*) с триплоидным (модальным), $2n = 3x = 57$ (*а*, *в*) и диплоидным, $2n = 2x = 38$ (*б*, *г*) числом хромосом (масштабная линейка 10 мкм)

Fig. 4. Metaphase plates of propagated *in vitro* mixoploid aspen clone 15/01 (*а*, *б*) and its parent tree (*в*, *г*) with triploid (modal), $2n = 3x = 57$ (*а*, *в*) and diploid chromosome number, $2n = 2x = 38$ (*б*, *г*). Scale bar is 10 μm

У клонов 6/3 и 20/4 число хромосом оставалось диплоидным ($2n = 38$) с высоким преобладанием (85 и 95 % соответственно) клеток с 38 хромосомами. Они также имеют миксоплоидную природу, но уровень миксоплоидии у них в 2–4 раза ниже по сравнению с клоном 15/01 (табл. 3).

Миксоплоидия – одновременное присутствие в ткани организма клеток с различным уровнем плоидности – довольно распространена у растений. Особенно широко она встречается среди гибридов и полиплоидов [9]. Считают, что миксоплоидия за счет имеющегося у нее резерва клеток разного уровня плоидности способна повышать адаптивный потенциал растений, особенно в неблагоприятных условиях произрастания [2, 9, 14]. Адаптивность миксоплоидов нередко сочетается с их высокой продуктивностью.

Наиболее высокой (по сравнению с диплоидными клонами) сохранностью (особенно после сильной засухи 2010 г.) и лучшими показателями качества древесины (по плотности и длине волокна) отличается триплоидный клон 15/01, имеющий выраженную миксоплоидную природу (см. табл. 1 и 2). Это может быть связано с оптимальным сбалансированным соотношением у него клеток разного уровня плоидности (триплоидных, диплоидных и анеуплоидных), что обеспечивает наиболее эффективную экспрессию генов в конкретных условиях среды.

Как показали результаты наших предыдущих исследований на карельской березе, размноженной *in vitro* через каллусные культуры и имеющей признаки сомаклональной изменчивости [29], уровень миксоплоидии может изменяться в процессе длительного культивирования *in vitro* и влиять на проявление хозяйственно-ценных признаков (в частности, узорчатость древесины). В условиях настоящего эксперимента с осиной, микроразмноженной путем прямого органогенеза, миксоплоидные клоны оставались цитологически стабильными как *in vitro*, так и *ex vitro*. Использование же питательных сред без гормонов на этапах хранения коллекции *in vitro* и микроклонирования уменьшало вероятность возникновения сомаклональной изменчивости и обеспечивало генетическую стабильность клонов и их внутриклоновую однородность.

Это подтверждают и данные микросателлитного анализа растений одних и тех же клонов осины (15/01 и 6/3), находящихся в коллекции *in vitro* и произрастающих в питомнике (*ex vitro*) (табл. 4).

Таблица 4

**Генетические паспорта размноженных *in vitro* клонов осины, построенные на основе микросателлитного анализа**

| Клон | Образец, место нахождения | Локус, размер продукта | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PTR8 | PTR7 | PTR5 | PTR14 | PTR12 |
| 6/3 | Коллекция in vitro | 130/130 | 243/251 | 247/253 | 197/203 | 256/265 |
| | Питомник | 130/130 | 243/251 | 247/253 | 197/203 | 256/265 |
| 15/01 | Материнское дерево | 140/140 | 230/238 | 254/254 | 197/200 | 256/256 |
| | Коллекция in vitro | 140/140 | 230/238 | 254/254 | 197/200 | 256/256 |
| | Питомник | 140/140 | 230/238 | 254/254 | 197/200 | 256/256 |

Высокая генетическая внутриклоновая однородность (не выявлены изменения в ДНК спектрах) проявляется по всем 5 проанализированным микросателлитным локусам. Кроме того, растения размноженного *in vitro* клона осины 15/01 демонстрируют генетическую идентичность их материнскому дереву.

## *Заключение*

Результаты многолетних полевых испытаний размноженных *in vitro* клонов осины свидетельствуют о целесообразности использования разработанной нами технологии клонирования *in vitro* для выращивания посадочного материала селекционно-ценных биотипов осины (трудно размножаемых черенками и прививками) и создания продуктивных плантационных культур целевого назначения с гарантированным сохранением генетической и хозяйственной ценности исходных экземпляров. Это подтверждают данные изучения динамики роста и продуктивности размноженных *in vitro* клонов, качества древесины 17-летних деревьев, хромосомного и микросателлитного анализа одних и тех же клонов в культуре *in vitro* (в коллекции) и *ex vitro* (в питомнике) по сравнению с их материнскими деревьями.

Для получения ожидаемого эффекта от использования технологии *in vitro* предлагаем микроразмножение осины проводить на основе ранее созданной коллекции *in vitro* ценных генотипов (пробирочных растений в асептической культуре). Это ускоряет и упрощает процесс вегетативного размножения осины за счет исключения трудоемкого начального этапа получения асептических морфогенных культур, поддержания ювенильности и регенерационной способности культур взрослых материнских деревьев. Использование же безгормональных питательных сред (WPM или 1/2 WPM) и модели размножения (путем активации пазушных меристем) на этапах поддержания коллекции *in vitro* и клонирования осины способствует уменьшению вероятности сомаклональной изменчивости и обеспечивает генетическую стабильность и внутриклоновую однородность клонированного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Багаев Е.С., Багаев С.С., Макаров С.С., Чудецкий А.И.* Перспективы плантационного выращивания быстрорастущих триплоидных клонов осины в южно-таежном лесном районе европейской части России // Вест. Тюмен. гос. ун-та. Экология и природопользование. 2018. Т. 4, № 3. С. 81–93. [Bagaev E.S., Bagaev S.S., Makarov S.S., Chu-

detsky A.I. Prospects for Plantation Growing Fast-Growing Triploid Clones of Aspen in the Southern Taiga Forest Area of the European Part of Russia. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovaniye* [Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology], 2018, vol. 4, no. 3, pp. 81–93]. DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-3-81-93

2. *Буторина А.К.* Факторы эволюции кариотипов древесных // Успехи современной биологии. 1989. № 3(6). С. 342–357. [Butorina A.K. Factors of Karyotypes Evolution in Woody Plants. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Biology Bulletin Reviews], 1989, no. 3(6), pp. 342–357].

3. *Газизуллин А.Х., Гарипов Н.Р., Пуряев А.С., Ятманова Н.М., Хакимова З.Г., Чернов В.И., Исмагилов Р.И.* Результаты исследования четырехлетних опытных культур осины, созданных в Республике Татарстан методами биотехнологии // Вестн. Казан. ГАУ. 2011. № 3(21). С. 118–120. [Gazizullin A.Kh., Garipov N.P., Puryaev A.S., Yatmanova N.M., Khakimova Z.G., Chernov V.I., Ismagilov R.I. Four-Year Results of Experimental Cultures of Aspen Established by Tatarstan Biotechnology. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], 2011, no. 3(21), pp. 118–120].

4. *Гуров А.Ф., Фокин В.Н.* Основные пороки древесины осины и березы и их влияние на выход деловой древесины // Лесн. вестн. 2000. № 4. С. 92–94. [Gurov A.F., Fokin V.N. The Main Defects of Aspen and Birch Wood and Their Influence on the Commercial Timber Output. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2000, no. 4, pp. 92–94].

5. *Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Бутенко О.Ю.* Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом *in vitro* // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 4(24). С. 21–30. [Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Butenko O.Yu. Triploid Aspen Forest Plantations of *in vitro* Planting Material. *Vestnik PGTU. Ser. «Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie»* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2014, no. 4(24), pp. 21–30].

6. *Иванников С.П.* Быстрорастущая и устойчивая к гнили форма осины // Лесн. хоз-во. 1952. № 12. С. 37–38. [Ivannikov S.P. Fast-Growing and Rot-Resistant Aspen Species. *Lesnoye khozyaystvo*, 1952, no. 12, pp. 37–38].

7. *Кодун-Иванова М.А., Кулагин Д.В.* Рост лесных культур осины на вырубке и в условиях деградированных лесных земель // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: материалы 18-й междунар. науч. конф., 17–18 мая 2018 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. Минск: ИВЦ Минфина, 2018. Ч. 3. С. 45–46. [Kodun-Ivanova M.A., Kulagin D.V. Growth of Forest Crops of Australia on Felling and in the Conditions of Degraded Forest Land. *Proceedings of the 18th International Scientific Conference "Sakharov Readings 2018: Environmental Problems of the XXI Century", May 17–18, 2018, Minsk, Belarus*. Minsk, Minfin Publ., 2018, part 3, pp. 45–46].

8. *Кузнецова Н.Ф.* Развитие неспецифической и специфической реакций у *Pinus sylvestris* L. на популяционном уровне в стрессовом градиенте засушливых лет // Экология. 2015. № 5. С. 332–338. [Kuznetsova N.F. Development of Specific and Nonspecific Reponses to Stress in *Pinus sylvestris* L. at Population Level in a Gradient of Drought Years. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2015, no. 5, pp. 332–338]. DOI: 10.1134/S1067413615050136

9. *Кунах В.А.* Пластичность генома соматических клеток и адаптивность растений // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. Минск: Право и экономика. 2011. Т. 12. С. 7–14. [Kunakh V.A. Genome Plasticity of Somatic Cells and Plant Adaptability. *Molecular and Applied Genetics: Collection of Academic Papers*. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2011, no. 12, pp. 7–14].

10. *Лебедев В.Г., Азарова А.Б., Шестибратов К.А.* Широкомасштабное клональное микроразмножение декоративных и лесных культур // Проблемы и перспективы развития современной ландшафтной архитектуры: материалы Всерос. науч.-практ.

конф. с междунар. участием, 25–28 сент. 2017 г. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 189–192. [Lebedev V.G., Azarova A.B., Shestibratov K.A. Large-Scale Clonal Micropropagation of Ornamental and Forest Crops. *Problems and Prospects of Development of Modern Landscape Architecture: Materials of the Scientific Conference*. Simferopol, PP "ARIAL" Publ., 2017, pp. 189–192].

11. *Машкина О.С., Исаков Ю.Н.* Микроклональное размножение хозяйственно ценных генотипов осины // Сохранение, изучение и воспроизводство генетических ресурсов лесных древесных растений: сб. науч. тр. Воронеж, 2007. С. 47–58. [Mashkina O.S., Isakov Yu.N. Microclonal Propagation of Economically Valuable Genotypes of Aspen. *Preservation, Study and Reproduction of Genetic Resources of Forest Woody Plants: Collection of Academic Papers*. Voronezh, 2007, pp. 47–58].

12. *Михайлов Л.Е.* Осина. М.: Агропромиздат, 1985. 72 с. [Mikhaylov L.E. *Aspen*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 72 p.].

13. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с. [Poluboyarinov O.I. *The Density of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 160 p.].

14. *Седельникова Т.С.* Изменчивость размера генома хвойных в экстремальных условиях произрастания // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 5. С. 514–528. [Sedel'nikova T.S. Variability of Genome Size in Conifers under Extreme Environmental Conditions. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2015, no. 135(5), pp. 514–528].

15. *Столярова Н.А.* Выращивание посадочного материала триплоидной осины, полученного по технологии *in vitro* и закладка плантаций // Изв. СПбЛТА. 2010. Вып. 193. С. 62–71. [Stolyarowa N.A. Growing Seedlings Triploid Aspen Obtained by *in vitro* Technology and Plantation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2010, iss. 193, pp. 62–71].

16. *Топильская Л.А., Лучникова С.А., Чувашина Н.П.* Изучение соматических и мейотических хромосом смородины на ацетогематоксилиновых давленых препаратах // Бюл. науч. информ. Центр. генет. лаб. им. И.В. Мичурина. 1975. № 22. С. 58–61. [Topil'skaya L.A., Luchnikova S.A., Chuvashina N.P. Study of Somatic and Meiotic Chromosomes of Currant on Acetohematoxylin Squashed Preparations. *Byulleten' nauchnoy informatsii Tsentral'noy geneticheskoy laboratorii imeni I.V. Michurina*, 1975, no. 22, pp. 58–61].

17. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение. М.: Академия, 2011. 272 с. [Ugolev B.N. *Wood Science and Forest Merchandizing*. Moscow, Akademiya Publ., 2011. 272 p.].

18. *Царев А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В.* Селекция лесных и декоративных древесных растений. М.: МГУЛ, 2014. 552 с. [Tsarev A.P., Pogiba S.P., Laur N.V. *Breeding of Forest and Ornamental Woody Plants*. Moscow, MGUL Publ., 2014. 552 p.].

19. *Шабунин Д.А., Подольская В.А., Бовичева Н.А.* Получение посадочного материала быстрорастущих форм осины с использованием метода *in vitro* и закладка плантаций // Лесохозяйств. информ. 2008. № 3-4. С. 51–53. [Shabunin D.A., Podol'skaya V.A., Bovicheva N.A. Production of Planting Material of Fast-Growing Aspen Forms Using *in vitro* Techniques and Laying out of Plantations. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2008, no. 3-4, pp. 51–53].

20. Ahuja M.R. Somatic Cell Differentiation and Rapid Clonal Propagation of Aspen. *Silvae Genetica*, 1983, vol. 32, iss. 3-4, pp. 131–135.

21. Doyle J.J., Doyle J.L. A Rapid DNA Isolation Procedure for Small Quantities of Fresh Leaf Tissue. *Phytochemical Bulletin*, 1987, vol. 19, pp. 11–15.

22. Dubova I. Triploīdās apses (*P. tremula*) un hibrīdapses (*P. tremuloides* × *P. tremula*) klonu pavairošana audu kultūrā *in vitro* [Micropropagation of Triploid Aspen (*P. tremula*) and Aspen Hybrids (*P. tremuloides* × *P. tremula*) *in vitro*]. *Mežzinātne* [Forest Science], 2008, no. 17(50), pp. 117–130.

23. Greer B.T., Still C., Cullinan G.L., Brooks J.R., Meinzer F.C. Polyploidy Influences Plant-Environment Interactions in Quaking Aspen (*Populus tremuloides* Michx.). *Tree Physiology*, 2018, vol. 38, iss. 4, pp. 630–640. DOI: 10.1093/treephys/tpx120

24. Hadži-Georgiev K., Goguševski M. Dvolazne tabele mass za topola klona Populus euramerican acv. I-214 u gevgeliskom području. *Topola*, 1972, T. XVI, No. 90, pp. 25–29.

25. Khattab S. Effect of Different Media and Growth Regulators on the *in vitro* Shoot Proliferation of Aspen, Hybrid Aspen and White Poplar Male Tree and Molecular Analysis of Variants in Micropropagated Plants. *Life Science Journal*, 2011, vol. 8, iss. 1, pp. 177–184. DOI: 10.7537/marslsj080111.25

26. Liptáková E. *Chçmia a aplikâciapomocnych lâtok v drevârskom priemysle*. Ed. by E. Liptáková, M. Sedliačik. Bratislava, 1989. 520 p.

27. Lloyd G., McCown B. Commercially-Feasible Micropropagation of Mountain Laurel, *Kalmia latifolia* by Use of Shoot Tip Culture. *Combined Proceedings, International Plant Propagators' Society*, 1980, vol. 30, pp. 421–427.

28. Luoranen J., Lappi J., Zhang G., Smolander H. Field Performance of Hybrid Aspen Clones Planted in Summer. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no 2, pp. 257–269. DOI: 10.14214/sf.342

29. Mandal A. Micropropagation of *Populus tremula* L.: Condition for Induction of Shoots and Roots. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1989, vol. 4, iss. 3–4, pp. 285–293. DOI: 10.1080/02827588909382566

30. Mashkina O.S., Butorina A.K., Tabatskaya T.M. Karelian Birch (*Betula pendula* Roth. var. *carelica* Merkl.) as a Model for Studying Genetic and Epigenetic Variation Related to the Formation of Patterned Wood. *Russian Journal of Genetics*, 2011, vol. 47, iss. 8, pp. 951–957. DOI: 10.1134/S1022795411080126

31. Pirard R., Secco L.D., Warman R. Do Timber Plantations Contribute to Forest Conservation? *Environmental Science & Policy*, 2016, vol. 57, pp. 122–130. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.12.010

32. Pozdnyakov I., Azarova A., Shestibratov K. Effect of the Volume of Production of Planting Material on the Basis of Clonal Micropropagation on the Cost Price of Invitro-Rooted Birch and Aspen Microplants. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2016, vol. 11, no. 18, pp. 12031–12048.

33. Rahman M.H., Dayanandan S., Rajora O.P. Microsatellite DNA Markers in *Populus tremuloides*. *Genome*, 2000, vol. 43, no. 2, pp. 293–297. DOI: 10.1139/g99-134

34. Tullus A., Rytter L., Tullus T., Weih M., Tullus H. Short-Rotation Forestry with Hybrid Aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 27, iss. 1, pp. 10–29. DOI: 10.1080/02827581.2011.628949

35. Ulrich K., Ewald D. Breeding Triploid Aspen and Poplar Clones for Biomass Production. *Silvae Genetica*, 2014, vol. 63, iss. 1-6, pp. 47–58. DOI: 10.1515/sg-2014-0008

36. Zeps M., Adamovics A., Smilga J., Sisenis L. Productivity and Quality of Hybrid Aspen at the Age of 18 Years. *Proceedings of the Annual 22nd International Scientific Conference "Research for Rural Development 2016"*. Jelgava, Latvia, 2016, vol. 2, pp. 55–61.

37. Zeps M., Auzenbaha D., Gailis A., Treimanis A., Grinfelds U. Hibrīdapšu (*Populus tremuloides* × *Populus tremula*) klonu salīdzināšana un atlase [Evaluation and Selection of Hybrid Aspen (*Populus tremuloides* × *Populus tremula*) Clones]. *Mežzinātne* [Forest Science], 2008, no. 18(51), pp. 19–34.

38. Zontikov D., Zontikova S., Sergeev R., Shurgin A., Sirotina M. Micropropagation of Highly Productive Forms of Diploid and Triploid Aspen. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 962-965, pp. 681–690. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.681

## FIELD TRIALS OF *IN VITRO* PROPAGATED ASPEN CLONES (*Populus tremula* L.): GROWTH, PRODUCTIVITY, WOOD QUALITY, AND GENETIC STABILITY

***O.S. Mashkina*[1,2]**, *Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: H-7362-2014, ORCID: 0000-0001-8252-2192*
***E.A. Shabanova*[1]**, *Research Scientist; ORCID: 0000-0003-3795-2702*
***I.N. Varivodina*[1]**, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: H-9040-2017, ORCID: 0000-0002-0351-8898*
***T.A. Grodetskaia*[1,2]**, *Junior Research Scientist, Postgraduate Student; ResearcherID: S-8770-2019, ORCID: 0000-0002-5448-2792*
[1]All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: mashkinaos@mail.ru, katy-green2009@yandex.ru, varivodinna@rambler.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru
[2]Voronezh State University, Universitetskaya ploshchad', 1, Voronezh, 394018, Russian Federation; e-mail: mashkinaos@mail.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru

The widespread introduction of highly productive and rot-resistant forms and hybrids of aspen (*Populus tremula* L.) into the forest production is constrained by the lack of effective methods of their vegetative reproduction. Achievements of modern forest biotechnology enable *in vitro* cloning of economically valuable aspen genotypes and obtain planting material for plantation forest growing. The study of the manifestation features of valuable traits and genetic stability of *in vitro* clones propagated in the field (*ex vitro*) is important for the development of effective and reliable propagation methods that guarantee the preservation of the genetic and economic value of parent trees for their sustainable and targeted reproduction. The results of genetic stability evaluation, growth dynamics, productivity and wood quality of three *in vitro* propagated aspen clones (6/3, 15/01, and 20/4) in the field are presented. Micropropagation was carried out by direct organogenesis using hormone-free nutrient media. According to the results of 17-year field trials, clones demonstrate good growth and sufficiently high productivity of stands; preserve the growth characteristics of parent trees, showing no signs of somaclonal variability. At the age of 17, the average height of the trees was 18–20 m; the trunk diameter was 25–30 cm; the trunk volume was 0.391–0.553 $m^3$; the timber volume was 111–227 $m^3$/ha at trees placing 4×4 and survival rate 44–71 %. High genetic stability of clones *in vitro* and *ex vitro* was revealed based on the results of analysis of microsatellite loci, ploidy level and mixoploidy. It is shown that the triploid clone 15/01, which has high myxoploidy level, is characterized by a higher preservation and better wood quality attributes (wood density and fiber length) than diploid clones. This is probably due to the optimal balanced ratio of cells with different ploidy levels (triploid, diploid, and aneuploid), which provides the most effective expression of genes in specific environmental conditions.
***For citation:*** Mashkina O.S., Shabanova E.A., Varivodina I.N., Grodetskaia T.A. Field Trials of *in vitro* Propagated Aspen Clones (*Populus tremula* L.): Growth, Productivity, Wood Quality, and Genetic Stability. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 25–38. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.25

*Keywords: Populus tremula* L., *in vitro* cloning, field trials, chromosomal and microsatellite analysis.

Поступила 28.03.19 / Received on March 28, 2019

УДК 630*231
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.39

# РАЗВИТИЕ НИЖНИХ ЯРУСОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПОД ПОЛОГОМ ТРОПИЧЕСКОГО ЛЕСА В УСЛОВИЯХ ВЬЕТНАМА

***Н.В. Беляева*[1]*, д-р с.-х. наук, проф.;*** *ResearcherID: W-2629-2017, ORCID: 0000-0001-8673-2824*
***Нгуен Тхи Тху Хыонг*[1]*, аспирант***
***Д.А. Данилов*[2]*, д-р с.-х. наук, проф.***
***А.В. Грязькин*[1]*, д-р биол. наук, проф.;*** *ResearcherID: C-6699-2018, ORCID: 0000-0002-7901-2180*
[1]Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: galbel06@mail.ru, nguyenhuong143@gmail.com, lesovod@bk.ru
[2]Ленинградский НИИСХ «Белогорка», ул. Институтская, д. 1, дер. Белогорка, Ленинградская область, Россия, 188338; e-mail: stown200@mail.ru

Приведены результаты исследований естественного возобновления древесных пород на постагрогенных землях и землях бывших поселений в условиях Вьетнама. Для эксперимента использованы земли парка Кук Фыонг, ранее затронутые хозяйственным воздействием. Были подобраны два опытных объекта: земли бывших поселений и постагрогенные земли. При закладке пробных площадей, проведении исследований и обработке полученных результатов использованы методики, разработанные вьетнамскими учеными, а также сотрудниками кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета. Исследования показали, что на землях бывших поселений состав подроста относительно сложный. Число видов, присутствующих в составе подроста, колеблется от 2 до 9. Данные породы являются пионерами на начальном этапе восстановления древесной растительности на землях бывших поселений и имеют большое экологическое значение, но короткий жизненный цикл. В составе подроста встречаются также виды, имеющие длинный жизненный цикл. Они, как правило, светолюбивы, быстро растут и способны выдержать конкуренцию с другими видами за элементы питания и свет. Во взрослом возрасте они присутствуют в составе древостоя. Наличие этих видов увеличивает видовое разнообразие древесных пород и повышает устойчивость насаждения в целом. На постагрогенных землях состав подроста относительно простой. Число видов, присутствующих в его составе, колеблется от 2 до 4, что в 2 раза ниже, чем на землях бывших поселений. Эти растения имеют короткий жизненный цикл, незначительное экономическое значение и обладают низкой способностью к конкуренции за свет и элементы питания. Виды, имеющие длинный жизненный цикл, на постагрогенных землях отсутствуют. И на землях бывших поселений, и на постагрогенных землях преобладает жизнеспособный и крупный по высоте подрост семенного происхождения. На обоих объектах видовое разнообразие живого напочвенного покрова и подлеска невелико и практически одинаково. Живой напочвенный покров представлен травами и полукустарниками, подлесок – кустарниками. Это светолюбивые, быстрорастущие виды. Среднее проективное покрытие живого напочвенного покрова и подлеска на обоих участках превышает 85 %, что затрудняет развитие подроста древесных пород. В целом подрост, живой напочвенный покров и подлесок на землях бывших поселений более разнообразны по видовому составу и структуре, чем на постагрогенных землях. Однако густота подроста на обоих участках недостаточна для формирования в дальнейшем высокопродуктивного тропического фитоценоза. В связи с этим и на землях бывших поселений и на постагрогенных землях необходимо осуществлять меры содействия последующему успешному лесовозобновлению.

***Для цитирования:*** Беляева Н.В., Нгуен Тхи Тху Хыонг, Данилов Д.А., Грязькин А.В. Развитие нижних ярусов растительности под пологом тропического леса в условиях Вьетнама // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 39–51. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.39

*Ключевые слова*: постагрогенные земли, земли бывших поселений, естественное лесовозобновление, нижние ярусы растительности, подрост, подлесок, живой напочвенный покров

## *Введение*

Тропический лес Вьетнама, имея сложную структуру и многоярусность, способствует интенсивному круговороту воды и ограничению вредного воздействия природных факторов (сильные ветры, температурные колебания и т. п.), гарантирует безопасность людей, живущих в этом регионе. Поэтому роль тропического леса очень важна для экономики страны и жизни общества.

Тропический дождевой лес имеет весьма высокое биоразнообразие и видовое богатство, поэтому он привлекал многих ученых, таких как Р. Катинот (1965), Ю. Одум (1975) и др. Эти авторы изучали морфологическую структуру леса на основе лесных карт и планов. Структурные элементы характеризовались и классифицировались с использованием концепции жизненных форм растений, зон перекрытия видов, популяций. Их работы заложили основу для будущих прикладных исследований.

В 60-х гг. прошлого века Р. Катинот изучал морфологическую структуру лесов Африки. Основное внимание он уделял экологическим факторам, обусловливающим формирование структуры насаждений, пользуясь при этом классификациями и понятиями о жизненных формах и ярусности растительности [9].

Ю. Одум усовершенствовал теорию экологической системы (экосистемы), сформулированной Тэнслеем еще в 1935 г. Эта теория дает научное обоснование для изучения структурной характеристики тропического леса с экологической точки зрения [11].

Однако уже в 70-х гг. XX в. Г.Н. Баур [1] впервые исследовал экологические проблемы эксплуатации леса в целом и тропического леса в частности, детально изучил факторы, влияющие на структуру леса, а также лесохозяйственные мероприятия, которые применяются во влажном тропическом лесу. По мнению автора, в тропических лесах Вьетнама выполняются лесохозяйственные мероприятия, направленные на достижение двух различных целей: первая – улучшение смешанных и разновозрастных лесов путем вырубки перестойных и малоценных деревьев для создания оптимальных условий роста более перспективных экземпляров, вторая – содействие возобновлению леса. Лесовозобновление осуществляется искусственным путем или освобождением яруса возобновляющегося подроста из-под полога древостоя в целях замены деревьев, удаленных в процессе рубки. Автор обобщил большой опыт лесоэксплуатации в условиях тропического леса.

Проблематика вырубки лесов и последствий этого воздействия на восстановление растительного покрова во Вьетнаме нашла отражение в работах ряда авторов [14–16, 24].

За последние 30 лет изучению экологии и структуры лесных биоценозов Вьетнама уделяется значительное внимание, что обусловлено необходимостью вести лесное хозяйство целенаправленно и более интенсивными методами, при этом сохраняя биоразнообразие лесных экосистем [19, 22, 23].

Проведены многочисленные исследования, посвященные изучению структуры древостоев вторичных лесов, и проанализированы процессы восстановления после вырубок в различных географических районах Вьетнама, освещены вопросы совместного использования лесов и выращивания сельскохозяйственных культур [17, 21, 24, 25].

Однако вопрос восстановительных стадий лесов на постагрогенных землях региона исследования до настоящего времени не был освещен в полной мере.

Цель данной работы – изучение особенностей возобновления нижних ярусов растительности (подроста, подлеска и живого напочвенного покрова) на постагрогенных землях и землях бывших поселений в условиях Вьетнама.

## *Объекты и методы исследования*

Объектами исследования являлись земли национального парка Кук Фыонг, ранее (до переселения) затронутые хозяйственным воздействием со стороны жителей селения Данг. Этот парк был создан в 1962 г. по решению государственных органов в целях сохранения его лесного фонда, природы и биоразнообразия; развития экологического туризма; исследования и изучения лесных проблем. Территория парка покрыта разнообразным растительным покровом. Почвы парка образованы на известковых горных породах, обладают хорошей способностью удерживать воду, имеют средний размер механических элементов гранулометрического состава, обладают рыхлостью (60...65 %), богаты гумусом (4...5 %), т. е. имеют хорошие агрохимические свойства. Все это позволяет называть их плодородными.

Были подобраны два опытных объекта: 1 – земли бывших поселений; 2 – постагрогенные (бывшие сельскохозяйственные) земли. На каждом объекте закладывали не менее 3 лент. На каждой ленте располагалось по 15 пробных площадей (ПП) размером 250 м$^2$ (10 × 25 м). На каждой ПП заложено 6 учетных площадок площадью 4 м$^2$ (2 × 2 м). Учетные площадки расположены случайно [4, 5, 10].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили общепринятыми методами с использованием Excel [13, 26]:

$$m = 5 \lg n; \quad (1)$$

$$k = (X_{max} - X_{min})/m, \quad (2)$$

где $m$ – количество групп деревьев; $n$ – количество деревьев на ПП, шт.; $k$ – расстояние между группами деревьев, м; $X_{max}$, $X_{min}$ – максимальное и минимальное значения измеряемого параметра.

Для установления видового состава древостоев использовали метод определения уровня (*Important value* – *IV*, %) по Даниелу–Мармиллоду [7, 8, 20]:

$$IV_i = \frac{N_i + G_i}{2}, \quad (3)$$

где $IV_i$ – доля $i$-го вида в составе древостоя, %; $N_i$ – доля $i$-го вида в общем количестве деревьев, %; $G_i$ – доля $i$-го вида в суммарной площади сечения на высоте 1,3 м, %.

Для определения видового разнообразия применяли индекс разнообразия, предложенный Э. Симпсоном в 1949 г. [13, 18]:

$$D_i = 1 - \sum_{x=1}^{n_i} P_i^2; \quad (4)$$

$$P_i = n_i/N, \quad (5)$$

где $n_i$ – количество особей вида *i,* шт.; $P_i$ – сравниваемые виды, шт.; $N$ – общее количество особей, шт.

При этом индекс разнообразия Симпсона должен удовлетворять условию $0 \leq D_i \geq 1$, только в этом случае можно говорить о биоразнообразии.

Густоту подроста (численность на 1 га) определяли по формуле [13]:

$$\frac{N}{ha} = \frac{n}{S}\,10\,000, \quad (6)$$

где $\frac{N}{ha}$ – количество особей, шт./га; $n$ – количество особей одного вида или количество особей на ПП, шт.; $S$ – площадь ПП, м$^2$.

Подрост делили на 4 категории крупности: всходы (до 0,5 м), мелкий (0,5...1,0 м), средний (1,1...1,5 м) и крупный (более 1,5 м) [3, 6, 12].

Определяли также состояние подроста по внешним признакам (жизнеспособный, нежизнеспособный, поврежденный и сухой) [3, 6, 13] и рассчитывали процент жизнеспособного, нежизнеспособного, поврежденного или сухого подроста по формуле [13]:

$$N,\% = \frac{n}{N}\,100, \quad (7)$$

где $n$ – сумма жизнеспособного, нежизнеспособного, поврежденного или сухого подроста, шт.; $N$ – общее количество подроста, шт.

Жизнеспособный подрост делили на две категории: хороший и удовлетворительный. Поврежденный и сухой подрост относили к категории некачественного.

Проективное покрытие живого напочвенного покрова и подлеска определяли, используя методику кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета [2].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Изучение естественного возобновления леса показывает его состояние и направление развития древесного фитоценоза в будущем и является основой для научных подходов, а также для разработки лесохозяйственных мероприятий, позволяющих контролировать процесс восстановления лесов с учетом экономического развития, повышения устойчивости окружающей среды и биоразнообразия.

Характеристика подроста на ПП представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Состав подроста на объектах исследования**

| ПП | Состав древостоя / Состав подроста | ПП | Состав древостоя / Состав подроста |
|---|---|---|---|
| *Объект 1 (земли бывших поселений)* | | *Объект 2 (постагрогенные земли)* | |
| 16 | 3,85Rg3,85Va1,15Mt1,15Ln / 2,7Đ2Va1,33Cl0,67S0,67Rg0,67Ch0,67Ln 0,67Đk0,62Mt | 1 | 33,1Bl25,2Sm21,5D12,4Nh7,8N / 9D1Nh |

*Окончание табл. 1*

| ПП | Состав древостоя / Состав подроста | ПП | Состав древостоя / Состав подроста |
|---|---|---|---|
| *Объект 1 (земли бывших поселений)* | | *Объект 2 (постагрогенные земли)* | |
| 17 | 5,33Va2Mt2Rg 0,67Tn / 3,58Va2,86Mt1,43Đ0,71S0,71Ln0,71Lm | 2 | 97,3D2,7Bl / 5,6D2,2Bl2,2Nh |
| 18 | 7,78Bl1,11Ln1,11Nh / 3,32Bl1,67D1,67Đ1,67Nh1,67Ln | 3 | 81,8D18,2Sm / 4,7D1,5Đn1,9Bl1,9Nh |
| 19 | 4,29Ln2,5Tn2,5Tr0,71Đ / 3,33Bl3,33Ln2,22Đn1,12Đk | 4 | 90,9D9,1Bl / 6,11D2,22Va1,67Bl |
| 20 | 6,67Va2,22Ln1,11Bl / 3,07Bl2,31Va2,31Rg0,77Đn0,77Đ0,77N | 6 | 51,6D48,4Bl / 6Bl2Đ2Ln |
| 21 | 6,66Va3,34Tn / 4Nh3Bl3Va | 9 | 35,7D33,4Ln23Bl7,9Đ / 6,43D2,86Nh0,71Bl |
| 22 | 3,86Ck3,86Bl2,28Mr / 3,64Bl1,82D1,82Đ1,82Nh0,9Ln | 10 | 46,5Bl29,5Nh24Sm / 5,83D1,67Đn1,67S0,83N |
| 23 | 3,33D1,67Va1,67Nh1,11Bl1,11Cl1,11Rg / 1,99Đ1,33Đk1,33Rc1,07Đn1,07St1,07Cl1, 07Va1,07Hb | 11 | 29,9Bl39,5Rg30,6D / 7,5D2,5Nh |
| 24 | 3,85Rg3,85Va1,15Cl1,15Bl / 3,31Hb2,07Rg1,23Rg1,23Rc1,23Đ0,93Va | 12 | 79,2D13,5Bl7,3Nh / 7D1Nh1Ln1Va |
| 25 | 6,66Bl3,34Rg / 3,34Bl3,33Ln3,33Rg | 13 | 58,4D21,8Nh19,8Bl / 5Bl2,5S1,25Ln1,25Đk |
| 26 | 7D3Bl / 3,27D3,27Đk1,73Bl1,73S | 14 | 51,1D31,1Ln17,8Bl / 3,33Bl3,33Nh2,1Đk1,33Đ |
| 27 | 4,54Bl2,73Rg2,73Cl / 3,34Đk3,33Đ3,33Hb | | |
| 28 | 5,66Bl2,17Rg2,17Th / 4Đ4Bl2Ln | | |
| 29 | 3,73Nh3,73Bl2,54Rg / 4D4Bl2Đ | | |
| 30 | 5,5Bl4,5Nh / 5,84D4,16Bl | | |

Примечание. Подрост: Rg – *Cinnamomum obtusifolium* (Roxb) Nees; Va – *Saraca dives* Pierre; Mt – *Streblus macrophyllus* Blume; Ln – *Macaranga denticulata* (Blume) Muell. Arg; S – *Dracontomelon duperreanum* Pierre; Bl – *Litsea glutinosa* (Lour.); Nh – *Bischofia javanica* Blume; Ch – *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama; Đ – *Schefflera Heptaphylla* (L); Đk – *Radermachera ignea* (Kurz) Steenis; Lm – *Pterospermum heterophyllum* Hance; D – *Broussonetia papyrifera* (L.); Cl – *Caryodaphnopsis tonkinensis* (Lecomte) Airy Shaw; Th – *Cratoxylum cochinchinense* Blume; Đn – *Maesa perlarius* (Lour) Merr; Rc – *Carallia diplopetala* Hand; St – *Toxicodendon succecdanea* (L.) Kuntze; Hb – *Clausena lansium* (Lour.) Skeels.

Древостой: Rg – *Cinnamomum obtusifolium* (Roxb) Nees; Va – *Saraca dives* Pierre; Mt – *Streblus macrophyllus* Blume; Ln – *Macaranga denticulata* (Blume) Muell. Arg; Tn – *Cratoxylum cochinchinense* Blume; Bl – *Litsea glutinosa* (Lour.); Nh – *Bischofia javanica* Blume; Tr – *Vernicia montana* (Lour.); Đ – *Schefflera Heptaphylla* (L); Ck – *Mallotus philippinensis* Lam.; Mr – *Litsea balansae* Lecomte; D – *Broussonetia papyrifera* (L.); Cl – *Caryodaphnopsis tonkinensis* (Lecomte) Airy Shaw; Th – *Cratoxylum cochinchinense* Blume, N – *Radermachera ignea* (Kurz) Steenis; Sm – *Horsfieldia amygdalina* (Wall.); S – *Amesiodendron chinense* (Merr.) Hu.

Анализ данных табл. 1 показывает, что на объекте 1 (земли бывших поселений) состав подроста достаточно сложный. Число видов, присутствующих в составе подроста, колеблется от 2 до 9. Однако следует отметить, что разница в индексах состава отдельных видов незначительная, что свидетельствует об отсутствии доминантов на данном опытном участке.

Наиболее часто встречающимися видами на землях бывших поселений являются *Broussonetia papyrifera* (L.), *Litsea glutinosa* (Lour.) и *Macaranga denticulata* (Blume) Muell. Arg. Это быстрорастущие и светолюбивые виды, которые играют особую роль в процессе восстановления леса. Они на первом этапе процесса восстановления леса сначала образуют биотоп, а затем защитный полог для прорастания и развития других древесных видов. У них короткий жизненный цикл, низкие устойчивость и конкурентоспособность в борьбе за питательные вещества и свет, и в будущем они сменяются более устойчивыми к окружающей среде видами.

В составе подроста были выявлены также виды, имеющие длинный жизненный цикл (например, *Dracontomelon duperreanum* Pierre). Хотя в подросте у таких видов коэффициент состава незначителен (это очень светолюбивые породы), но в дальнейшем они могут стать доминирующими в сообществе древесных растений благодаря их большой устойчивости к негативным биотическим и абиотическим факторам.

При рассмотрении состава подроста на объекте 2 (постагрогенные земли) установлено, что на этом объекте состав подроста относительно простой. Число видов, присутствующих в составе подроста, колеблется от 2 до 4. Доминирующими видами на постагрогенных землях являются *Broussonetia papyrifera* (L.), *Bischofia javanica* Blume, *Radermachera ignea* (Kurz) Steenis и *Saraca dives* Pierre, которые имеют короткий жизненный цикл, незначительное экономическое значение и обладают низкой способностью к конкуренции за свет и элементы питания. В связи с этим за время развития растительного сообщества они сменяются другими светолюбивыми видами, более устойчивыми и конкурентоспособными.

На объекте 2 не выявлены виды, имеющие длинный жизненный цикл, как на объекте 1. В целом на землях бывших поселений видовой состав подроста более разнообразен, чем на постагрогенных землях.

Результаты исследования качества подроста на объектах 1 и 2 представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Показатели оценки качества подроста на объектах исследования**

| ПП | Густота подроста (численность), экз./га | Распределение подроста по категориям качества, % | | | Количество растений, имеющих перспективное развитие, % | Распределение подроста по источникам возобновления, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Хорошие | Удовлетворительные | Некачественные | | Семена | Поросль |
| *Объект 1 (земли бывших поселений)* | | | | | | | |
| 16 | 600 | 33,33 | 66,67 | 0 | 100 | 93,33 | 6,67 |
| 17 | 560 | 21,43 | 71,43 | 7,14 | 92,86 | 92,90 | 7,10 |
| 18 | 240 | 16,67 | 66,67 | 16,66 | 83,34 | 100 | 0 |
| 19 | 360 | 77,78 | 22,22 | 0 | 100,00 | 100 | 0 |

*Окончание табл. 2*

| ПП | Густота подроста (численность), экз./га | Распределение подроста по категориям качества, % | | | Количество растений, имеющих перспективное развитие, % | Распределение подроста по источникам возобновления, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Хорошие | Удовлетворительные | Некачественные | | Семена | Поросль |
| 20 | 520 | 84,62 | 7,69 | 7,69 | 92,31 | 100 | 0 |
| 21 | 400 | 50,00 | 50,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 22 | 440 | 27,27 | 54,55 | 18,18 | 81,82 | 100 | 0 |
| 23 | 600 | 33,33 | 60,00 | 6,67 | 93,33 | 100 | 0 |
| 24 | 480 | 58,33 | 41,67 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 25 | 120 | 66,67 | 33,33 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 26 | 280 | 14,29 | 85,71 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 27 | 120 | 0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 28 | 200 | 60,00 | 40,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 29 | 200 | 0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 30 | 240 | 50,00 | 50,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| *Объект 2 (постагрогенные земли)* | | | | | | | |
| 1 | 400 | 10,00 | 90,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 2 | 480 | 41,67 | 50,00 | 8,33 | 91,67 | 100 | 0 |
| 3 | 760 | 57,89 | 26,32 | 15,79 | 84,21 | 100 | 0 |
| 4 | 720 | 38,89 | 44,44 | 16,67 | 83,33 | 100 | 0 |
| 6 | 200 | 60,00 | 40,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 9 | 560 | 35,71 | 50,00 | 14,29 | 85,71 | 100 | 0 |
| 10 | 480 | 25,00 | 66,67 | 8,33 | 91,67 | 100 | 0 |
| 11 | 160 | 25,00 | 75,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 12 | 400 | 10,00 | 90,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 13 | 320 | 50,00 | 50,00 | 0 | 100 | 100 | 0 |
| 14 | 600 | 46,67 | 53,33 | 0 | 100 | 100 | 0 |

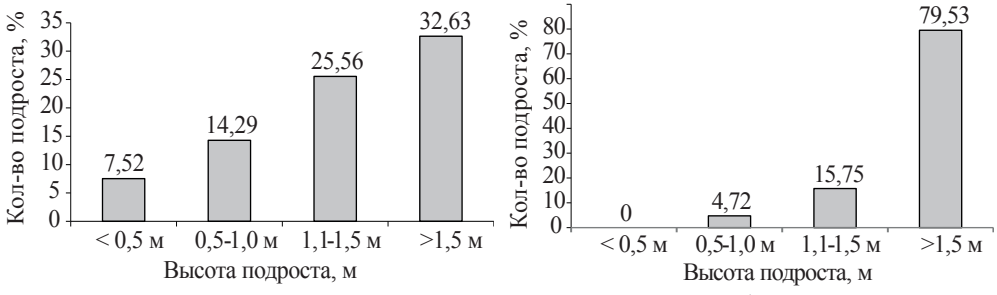
Анализ данных табл. 2 показывает, что на объектах 1 (земли бывших поселений) и 2 (постагрогенные земли) густота подроста незначительная и составляет соответственно 120...600 и 160...760 экз./га.

Можно выделить следующие причины плохого естественного лесовозобновления: удаленность от соседних лесов (источника семян); большое проективное покрытие; значительная высота живого напочвенного покрова и подлеска.

При такой густоте подроста через 18–20 лет исследуемая территория не будет полностью покрыта лесом, т. е. на ней требуется осуществлять меры содействия восстановлению леса и повышению его густоты.

Следует отметить, что на обоих объектах преобладает качественный и удовлетворительный подрост (болеее 80 %). В дальнейшем эти экземпляры растений смогут успешно развиваться, конкурировать за свет и элементы питания с живым напочвенным покровом и подлеском и сформировать древесный ярус. Кроме того, на большинстве объектах значительное число экземпляров подроста древесных пород имеет семенное происхождение.

В ходе анализа высотной структуры подроста установлено, что на обоих объектах преобладает крупный по высоте подрост (см. рисунок).




*а* *б*

Распределение подроста по высоте: *а* – на землях бывших поселений; *б* – на постагрогенных землях

The distribution of undergrowth throughout the height: *а* – lands of former settlements; *б* – post-agrogenic lands

Следует отметить, что количество подроста на постагрогенных землях (объект 2) в 2,5 раза больше, чем на землях бывших поселений (объект 1). Объясняется это активным развитием живого напочвенного покрова и подлеска на объекте 2, которые составляют значительную конкуренцию мелкому и среднему подросту за свет, влагу и элементы питания. Кроме того, на объекте 1 отмечено появление всходов (до 0,5 м), которые отсутствуют на объекте 2. Это еще раз свидетельствует о том, что на землях бывших поселений естественное возобновление протекает успешнее, чем на постагрогенных землях.

Все вышесказанное подтверждается анализом развития живого напочвенного покрова и подлеска на опытных участках (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика живого напочвенного покрова и подлеска на объектах исследования**

| Основные виды | Проективное покрытие, % | Высота, м |
|---|---|---|
| *Объект 1 (земли бывших поселений)* | | |
| Травы:<br>*Lophantherum Gracile* Brongn,<br>*Microsorum pteropus* (Blume),<br>*Piper betle* L.,<br>*Alpinia conchiger* Griff.,<br>*Costus speciosus* (J.Konig) Sm.,<br>*Pluchea indica* (L.) Less,<br>*Alocasia macrorrhizos* (L.) G.Don,<br>*Amomum villosum* Lour.<br>Полукустарники:<br>*Rubus fruticosus*<br>Кустарники:<br>*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr,<br>*Hibiscus rosa-sinensis* L. | Максимальное – 100,00<br>Минимальное – 54,20<br>Среднее – 86,11 | Максимальная – 1,13<br>Минимальная – 0,45<br>Средняя – 0,75 |
| *Объект 2 (постагрогенные земли)* | | |
| Травы:<br>*Lophantherum Gracile* Brongn,<br>*Microsorum pteropus* (Blume),<br>*Costus speciosus* (J.Konig) Sm.,<br>*Pluchea indica* (L.) Less,<br>*Alocasia macrorrhizos* (L.) G.Don, | Максимальное – 100,00<br>Минимальное – 55,00<br>Среднее – 93,72 | Максимальная – 1,28<br>Минимальная – 0,66<br>Средняя – 0,92 |

*Окончание табл. 3*

| Основные виды | Проективное покрытие, % | Высота, м |
|---|---|---|
| *Amomum villosum* Lour., *Piper lolot* C.DC., *Saccharum arundinaceum* Retz. Полукустарники: *Rubus fruticosus* Кустарники: *Schleichera oleosa* (Lour.) Merr | Максимальное – 100,00 Минимальное – 55,00 Среднее – 93,72 | Максимальная – 1,28 Минимальная – 0,66 Средняя – 0,92 |

Анализ данных табл. 3 показывает, что на обоих объектах исследования видовое разнообразие живого напочвенного покрова и подлеска невелико и практически одинаковое: количество видов составляет 10. Живой напочвенный покров представлен травами (преобладает *Lophantherum Gracile* Brongn) и полукустарниками (преобладает *Rubus fruticosus*), подлесок – кустарниками (*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr и *Hibiscus rosa-sinensis* L.). Это светолюбивые и быстрорастущие виды, которые всегда поселяются на заброшенных землях Вьетнама.

Среднее проективное покрытие живого напочвенного покрова и подлеска на обоих участках превышает 85 %, средняя высота видов составляет более 0,75 м, что затрудняет развитие подроста древесных пород из-за усиления между ними конкуренции за свет и элементы питания.

Следует отметить, что среднее проективное покрытие живого напочвенного покрова и подлеска, а также их высота на сельскохозяйственных землях (объект 2) больше, чем землях бывших поселений (объект 1), чем и объясняется менее успешное развитие подроста на постагрогенных землях.

Однако на подрост, достигший высоты 1,5 м и более, живой напочвенный покров и подлесок оказывают уже незначительное влияние. Корни этих деревьев глубоко проникают в почву, из которой и добывают необходимые элементы питания.

## *Заключение*

На землях бывших поселений состав подроста относительно сложный. Число видов, присутствующих в его составе, колеблется от 2 до 9. Доминанты представлены светолюбивыми породами *Broussonetia papyrifera* (L.), *Litsea glutinosa* (Lour.) и *Macaranga denticulata* (Blume) Muell. Arg независимо от состава материнского древостоя. Данные породы являются пионерами на начальном этапе восстановления древесной растительности на землях бывших поселений и имеют большое экологическое значение, но короткий жизненный цикл. Кроме доминирующих пород, в составе подроста встречаются виды, имеющие длинный жизненный цикл, например *Dracontomelon duperreanum* Pierre. Они, как правило, светолюбивые, быстрорастущие и способные выдерживать конкуренцию с другими видами за элементы питания и свет. Во взрослом возрасте они присутствуют в составе древостоя, что увеличивает видовое разнообразие древесных пород и повышает устойчивость насаждения в целом.

На постагрогенных землях состав подроста относительно простой. Число видов, присутствующих в его составе, колеблется от 2 до 4, что в 2 раза ниже, чем на землях бывших поселений. На бывших сельскохозяйственных землях

также независимо от состава древостоя произрастают светолюбивые, быстрорастущие виды. Доминирующими являются *Broussonetia papyrifera* (L.), *Bischofia javanica* Blume, *Radermachera ignea* (Kurz) Steenis и *Saraca dives* Pierre. Эти растения имеют короткий жизненный цикл, незначительное экономическое значение и обладают низкой способностью к конкуренции за свет и элементы питания. В связи с этим за время развития растительного сообщества они сменяются другими светолюбивыми видами, более устойчивыми и конкурентоспособными. Виды, имеющие длинный жизненный цикл, на постагрогенных землях отсутствуют.

И на землях бывших поселений, и на постагрогенных землях преобладает жизнеспособный и крупный по высоте подрост семенного происхождения. В дальнейшем эти экземпляры растений смогут успешно развиваться, конкурировать за свет и элементы питания с живым напочвенным покровом и подлеском и сформировать древесный ярус.

На обоих объектах исследования видовое разнообразие живого напочвенного покрова и подлеска невелико и практически одинаково. Живой напочвенный покров представлен травами (преобладает *Lophantherum Gracile* Brongn) и полукустарниками (преобладает *Rubus fruticosus)*, подлесок – кустарниками (*Schleichera oleosa* (Lour.) Merr и *Hibiscus rosa-sinensis* L.). Это светолюбивые, быстрорастущие виды, которые всегда поселяются на заброшенных землях Вьетнама. Среднее проективное покрытие живого напочвенного покрова и подлеска на обоих участках превышает 85 %, средняя высота видов составляет более 0,75 м, что затрудняет развитие подроста древесных пород из-за усиления между ними конкуренции за свет и элементы питания.

В целом подрост, живой напочвенный покров и подлесок на землях бывших поселений более разнообразны по видовому составу и структуре, чем на постагрогенных землях. Данное явление связано с тем, что многие древесные породы высаживались на указанных территориях целенаправленно местным населением.

Густота подроста на обоих участках недостаточна для формирования в дальнейшем высокопродуктивного тропического леса. В связи с этим и на землях бывших поселений, и на постагрогенных землях необходимо осуществлять меры содействия последующему успешному лесовозобновлению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Баур Г.Н*. Экологические основы тропического лесопользования: пер. с англ. на вьетнам. Вьонг Тан Нхи. Ханой: Науч.-техн. изд-во, 1976. 560 с. [Baur G.N. *Ecological Basics of Tropical Forest Use*. Hanoi, Scientific and Technical Publishing House, 1976. 560 p.].

2. *Беляева Н.В.* Закономерности изменения структуры и состояния молодого поколения ели в условиях интенсивного хозяйственного воздействия: дис. … д-ра с.-х. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 353 с. [Beliaeva N.V. *Regularities of Structural and State Variation of the Spruce Young Growth under Intensive Utility Impact*: Dr. Agric. Sci. Diss. Saint Petersburg, SPbGLTU, 2013. 353 p.].

3. *Беляева Н.В., Грязькин А.В.* Трансформация структуры молодого поколения ели после проведения несплошных рубок // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 44–51. (Изв. высш. учеб. заведений) [Belyaeva N.V., Gryazkin A.V. Transformation of the Spruce Young Growth Structure Subsequent to Selective and Gradual Cutting. *Lesnoy Zhurnal*

[Forestry Journal], 2012, no. 6, pp. 44–51]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/e87/%D0%9B%D0%A56.pdf

4. *Ву Динь Хуе.* Стандарт оценки природы // Лесохозяйств. журн. 1969. С. 28–30. [Vu Din Hue. Standard of Nature Assessment. *Lesokhozyaystvennyy zhurnal*, 1969, pp. 28–30].

5. *Ву Динь Хуе.* Обзор ситуации естественного возобновления в северных лесах Вьетнама: науч. докл. Ханой, 1975. [Vu Din Hue. *Overview of the Situation of Natural Forestation in the Northern Forests of Vietnam: A Scientific Report*. Hanoi, 1975].

6. *Грязькин А.В., Беляева Н.В.* Структура фенологических форм молодого поколения ели в условиях Ленинградской области // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 84–92. (Изв. высш. учеб. заведений). [Gryazkin A.V., Belyaeva N.V. The Structure of Phenological Forms of the Young Generation Spruce in the Leningrad Region. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 2, pp. 84–92]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/083/lh9.pdf

7. *Дао Конг Хань.* Исследование структурных особенностей вечнозеленого широколиственного леса в районе Хыонг Шон провинции Хатинь и предложения технических лесоводческих мероприятий для лесоэксплуатации и ухода за лесом: дис. ... канд. лесоводств. наук. Вьетнам. науч. лесохозяйств. акад., 1996. 144 с. [Dao Kong Han. *Study of the Structural Features of the Evergreen Broad-Leaved Forest in the Area of Huong Chon, Hà Tĩnh Province and Proposed Technical Silvicultural Measures for Forest Management and Care*: Cand. Agric. Sci. Diss. Vietnamese Scientific Forestry Academy, 1996. 144 p.].

8. *Донг Шу Хьен.* Создание таблицы объема и видового числа для лесов во Вьетнаме. Ханой: С.-х. изд-во, 1974. 95 с. [Dong Shu Hien. *Creating a Table of Volume and a Form Factor of Forests in Vietnam*. Hanoi, Agricultural Publishing House, 1974. 95 p.].

9. *Катинот Р.* Лесоводство в густом лесу Африки: пер. с англ. на вьетнам. / Выонг Тан Нхи. Ханой: Науч.-лесотехн. акад., 1965. 285 с. [Katinot R. *Silviculture in the Dense Forest of Africa*. Hanoi, Scientific and Forestry Academy, 1965. 285 p.].

10. *Нгуен Зюи Чуен.* Изучение закона распределения естественного восстановления лиственного вечнозеленого смешанного леса в Кюи Чау, Нге Ан: результаты научно-технических исследований с 1991 по 1995 г. Ханой: С.-х. изд-во, 1996. С. 53–56. [Nguyen Zui Chuen. *Study of the Distribution Law of the Natural Regeneration of Deciduous Evergreen Mixed Forest in Cui Chau, Nge An: Results of Scientific and Technical Research from 1991 to 1995*. Hanoi, Agricultural Publishing House, 1996, pp. 53–56].

11. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с. [Odum Yu. *Fundamentals of Ecology*. Moscow, Mir Publ., 1975. 740 p.].

12. *Фам Нгок Тхыонг.* Некоторые особенности естественного возобновления древесной растительности после сменной культивации в Бак Кан // Журн. сельского хозяйства и развития сельских районов. 2003. С. 98–104. [Fam Ngok Thyong. Some Features of the Natural Reforestation of Woody Vegetation after Shifting Cultivation in Bac Kan. *Zurnal sel'skogo khozyaystva i razvitiya sel'skikh rayonov*, 2003, pp. 98–104].

13. *Хоанг Ким Нгу, Фунг Нгок Лан.* Лесная экология. Ханой: С.-х. изд-во, 2005. 387 с. [Hoang Kim Ngu, Fung Ngok Lan. *Forest Ecology*. Hanoi, Agricultural Publishing House, 2005. 387 p.].

14. *Чан Нгу Фыонг.* Предварительные исследования леса в северном Вьетнаме. Ханой: Науч. техн. изд-во, 1970. 257 с. [Jan Ngu Phuong. *Preliminary Study of Forest in Northern Vietnam*. Hanoi, Scientific and Technical Publishing House, 1970. 257 p.].

15. Ahlbäck A.J. On Forestry in Vietnam, the New Reforestation Strategy and UN Assistance. *The Commonwealth Forestry Review*, 1995, vol. 74, no. 3, pp. 224–229.

16. De Koninck R. *Deforestation in Viet Nam*. Ottawa, ON, International Development Research Centre, 1999. 101 p.

17. Foody G.M., Curran P.J. Estimation of Tropical Forest Extent and Regenerative Stage Using Remotely Sensed Data. *Journal of Biogeography*, 1994, vol. 21, no. 3, pp. 223–244.

18. Fox J.E.D. Constraints on the Natural Regeneration of Tropical Moist Forest. *Forest Ecology and Management*, 1976, vol. 1, pp. 37–65. DOI: 10.1016/0378-1127(76)90006-2

19. Gomiero T., Pettenella D., Trieu G.P., Paoletti M.G. Vietnamese Uplands: Environmental and Socio-Economic Perspective of Forest Land Allocation and Deforestation Process. *Environment, Development and Sustainability*, 2000, vol. 2, iss. 2, pp. 119–142. DOI: 10.1023/A:1011443731674

20. Guevara S., Meave J., Moreno-Casasola P., Laborde J. Floristic Composition and Structure of Vegetation under Isolated Trees in Neotropical Pastures. *Journal of Vegetation Science*, 1992, vol. 3, iss. 5, pp. 655–664. DOI: 10.2307/3235833

21. Heinimann A., Messerli P., Schmidt-Vogt D., Wiesmann U. The Dynamics of Secondary Forest Landscapes in the Lower Mekong Basin. *Mountain Research and Development*, 2007, vol. 27, no. 3, pp. 232–241. DOI: 10.1659/mrd.0875

22. Morrison E., Dubois O. Sustainable Livelihoods in Upland Vietnam: Land Allocation and Beyond. *Forestry and Use Series 14*. London, International Institute for Environment and Development (IIED), 1998. 64 p.

23. Mutuo P.K., Cadisch G., Albrecht A., Palm C.A., Verchot L. Potential of Agroforestry for Carbon Sequestration and Mitigation of Greenhouse Gas Emissions from Soils in the Tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2005, vol. 71, iss. 1, pp. 43–54. DOI: 10.1007/s10705-004-5285-6

24. Tachibana T., Nguyen T.M., Otsuka K. Agricultural Intensification versus Extensification: A Case Study of Deforestation in the Northern-Hill Region of Vietnam. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2001, vol. 41, iss. 1, pp. 44–69. DOI: 10.1006/jeem.1998.1131

25. Van Vliet N., Mertz O., Heinimann A., Langanke T., Pascual U., Schmook B., Adams C., Schmidt-Vogt D., Messerli P., Leisz S., Castella J.-C., Jørgensen L., Birch-Thomsen T., Hett C., Bech-Bruun T., Ickowitz A., Vu K.C., Yasuyuki K., Fox J., Padoch C., Dressler W., Zieglerr A.D. Trends, Drivers and Impacts of Changes in Swidden Cultivation in Tropical Forest-Agriculture Frontiers: A Global Assessment. *Global Environmental Change*, 2012, vol. 22, iss. 2, pp. 418–429. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009

26. Zolkos S.G., Goetz S.J., Dubayah R. A Meta-Analysis of Terrestrial Aboveground Biomass Estimation Using Lidar Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2013, vol. 128, pp. 289–298. DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.017

## DEVELOPMENT OF THE VEGETATION LOWER LAYER UNDER THE TROPICAL FOREST CANOPY IN VIETNAM

***N.V. Beliaeva*[1]**, *Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: W-2629-2017, ORCID: 0000-0001-8673-2824*
***Nguyen Thi Thu Huong*[1]**, *Postgraduate Student*
***D.A. Danilov*[2]**, *Doctor of Agriculture, Prof.*
***A.V. Gryazkin*[1]**, *Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: C-6699-2018, ORCID: 0000-0002-7901-2180*
[1]Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: galbel06@mail.ru, nguyenhuong143@gmail.com, lesovod@bk.ru
[2]Federal State Educational Scientific Institution "Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture "Belogorka", ul. Institutskaya, 1, der. Belogorka, Leningrad region, 188338, Russian Federation; e-mail: stown200@mail.ru

The article presents the study results of natural regeneration of tree species on post-agrogenic lands and lands of former settlements in Vietnam. The experiment was carried out on the lands of the Cuc Phuong National Park, previously affected by management impact. Two experimental sites were selected: lands of former settlements and post-agrogenic lands. Methods developed by the Vietnamese scientists, as well as by the staff of the Forestry Department of the Saint-Petersburg State Forest Technical University have been used when laying out study plots, carrying out research, and processing the results. The studies have revealed that the undergrowth composition on the lands of former settlements is relatively complex. The number of species presented in the undergrowth composition ranges from 2 to 9. These species are pioneers at the initial stage of woody vegetation recovery on the lands of former settlements and they are of great environmental importance, though have a short life cycle. Species having a long life cycle are also found in the undergrowth. They are usually light-demanding, fast-growing and competitive with the other species for nutrients and light. In adulthood, they are presented in the stand composition. The presence of these species increases the tree species diversity and broadly improves the stability of plantation. The undergrowth composition on the post-agrogenic lands is relatively simple. The number of species presented in it varies from 2 to 4, which is twice lower, than on the former settlements lands. These plants have a short life cycle, little economic value and low ability to compete for light and nutrients. Species that have a long life cycle are absent on the post-agrogenic lands. Viable and high undergrowth of seed origin prevails both on the lands of former settlements and on post-agrogenic lands. At both sites, the species diversity of the live ground cover and shrub layer is small and pretty much the same. The live ground cover is represented by herbs and sub-shrubs, and the shrub layer – by shrubs. These are light-demanding and fast-growing species. The average projective coverage of live ground cover and shrub layer in both sites exceeds 85 %, which complicates the development of woody species undergrowth. In general, undergrowth, live ground cover, and shrub layer on the lands of former settlements are more diverse in terms of species composition and structure, than on the post-agrogenic lands. However, the density of the undergrowth in both areas is insufficient for the formation of further highly productive tropical phytocenosis. In this regard, it is necessary to carry out assistance measures for the subsequent successful reforestation on both types of lands.

***For citation:*** Beliaeva N.V., Nguyen Thi Thu Huong, Danilov D.A., Gryazkin A.V. Development of the Vegetation Lower Layer under the Tropical Forest Canopy in Vietnam. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 39–51. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.39

*Keywords:* post-agrogenic lands, lands of former settlements, natural reforestation, vegetation lower layers, undergrowth, shrub layer, live ground cover.

Поступила 28.11.18 / Received on November 28, 2018

УДК 630*161.34+630*164.4+581.134
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52

# СОДЕРЖАНИЕ ЗАПАСНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В КЛЕТКАХ ТКАНЕЙ ГОДИЧНЫХ ПОБЕГОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЕЛЬ (*Picea* L.) В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

***Н.Н. Бессчетнова, д-р с.-х. наук, доц.;*** *ResearcherID: H-1343-2019, ORCID: 0000-0002-7140-8797*
***А.В. Кулькова, ст. преп., аспирант;*** *ResearcherID: G-9517-2019, ORCID: 0000-0001-5200-233X*
Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: kulkova12@gmail.com

Важнейшей проблемой современности является создание и поддержание экологически благоприятной среды на урбанизированных территориях. Одним из путей ее решения является адаптивная селекция видов деревьев и кустарников (как аборигенов, так и интродуцентов), используемых для зеленого строительства. Результативность данной работы зависит от применения научных знаний об эколого-физиологическом состоянии каждого вида. Это определяет необходимость оценки адаптационной способности исследуемых для озеленения видов. Большую роль в формировании и развитии древесных и кустарниковых растений, в том числе представителей рода ель (*Picea A.* Dietr), играет содержание запасных питательных веществ в тканях. Достаточное их количество способствует активному росту и развитию побега, укоренению черенков и устойчивости к неблагоприятным внешним факторам. Предметом исследования выступили два вида рода ель (*Picea* A. Dietr.): аборигенный вид – ель европейская (*Picea abies* L.) и интродуцент – ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm.). Содержание крахмала в клетках тканей годичных побегов выявляли качественной реакцией Люголя, жиры фиксировали Суданом III. После окрашивания соответствующими реактивами и фиксации срезы анализировали с помощью микроскопа. Оценку содержания запасных веществ давали на поперечном срезе побега по каждой учетной зоне отдельно и в сумме баллов по всем учетным зонам, используя предложенную нами 6-балльную шкалу. Установлено, что клетки тканей ели колючей форма голубая содержат больше запасных веществ, чем клетки тканей ели европейской, во все учетные даты. Существенность таких различий подтвердил двухфакторный дисперсионный анализ. Отмечена инерционность процессов фотосинтеза с изменением температуры. Установлено, что содержание жиров может служить индикатором состояния растения и готовности его к вегетационному периоду или переходу в состояние покоя. Полученные сведения позволяют оптимизировать процессы работы в питомниках и более эффективно укоренять черенки.
***Для цитирования:*** Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В. Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (*Picea* L.) в условиях Нижегородской области // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 52–61. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.52

*Ключевые слова:* ель, содержание жиров, содержание крахмала, запасные питательные вещества, интродукция, урбанизированные территории.

## *Введение*

Экологическая и эстетическая среда урбанизированных территорий в значительной степени определяется уровнем озеленения, который в том

числе характеризуется ассортиментным составом деревьев и кустарников, используемых в городских и пригородных насаждениях. Видовой состав дендрофлоры современных городов ограничен, особенно это касается хвойных, как аборигенов, так и традиционно используемых интродуцентов. Посадки из видов рода ель являются средством улучшения состава воздуха не только в части снижения уровня запыленности, но и насыщения его фитонцидами. Объекты озеленения различного целевого назначения, в состав которых входят виды елей, эффективно снижают уровень шума. Эти деревья представляют высокую декоративную ценность в течение всего года, отличаясь регулярной конусовидной формой кроны, хорошо вписываются в многоэтажную застройку. Высокую декоративность имеет окраска голубой формы ели колючей, которая способствует устойчивости растений к неблагоприятным условиям городской среды. Это немаловажно, поскольку не многие хвойные способны сохранять декоративность, а часто и жизнеспособность, под действием поллютантов.

Ограниченное использование местных устойчивых форм видов елей, особенно при создании новых городских микрорайонов, связано с недостаточным производством сеянцев и саженцев, что в свою очередь обусловлено низким уровнем технологий тиражирования и выращивания посадочного материала. Данная проблема вызвана, в том числе, малой изученностью особенностей физиологии видов елей, что не позволяет научно обоснованно устанавливать сроки заготовки черенков для укоренения, использовать маточные растения, отличающиеся высокой регенерационной способностью и устойчивостью. Объективной оценкой биологического состояния растительных организмов, в значительной степени влияющей на их способность к укоренению, может служить оценка содержания запасных веществ в клетках тканей черенков, представляющих собой однолетние побеги [2, 4–12, 16–19, 22].

Содержание жиров рассматривается как способность объектов адаптироваться к неблагоприятным факторам среды, определяющая их зимостойкость, засухоустойчивость и др. [10].

Присутствие крахмала в тканях побегов связывают с эффективностью фотосинтеза и устойчивостью растений к неблагоприятным природным факторам. Исследования в данном направлении проводятся достаточно активно [6, 7, 14, 15, 19–22].

Ели относятся в целом к трудно укореняемым видам. Поиск факторов, определяющих или способных диагностировать готовность растений к процессу укоренения, актуален для Нижегородской области.

Цель данной работы – оценка межвидовых различий аборигенного и интродуцированного видов ели по содержанию запасных питательных веществ в тканях побегов в условиях Нижегородской области как одного из индикаторов адаптационной способности.

### *Объекты и методы исследования*

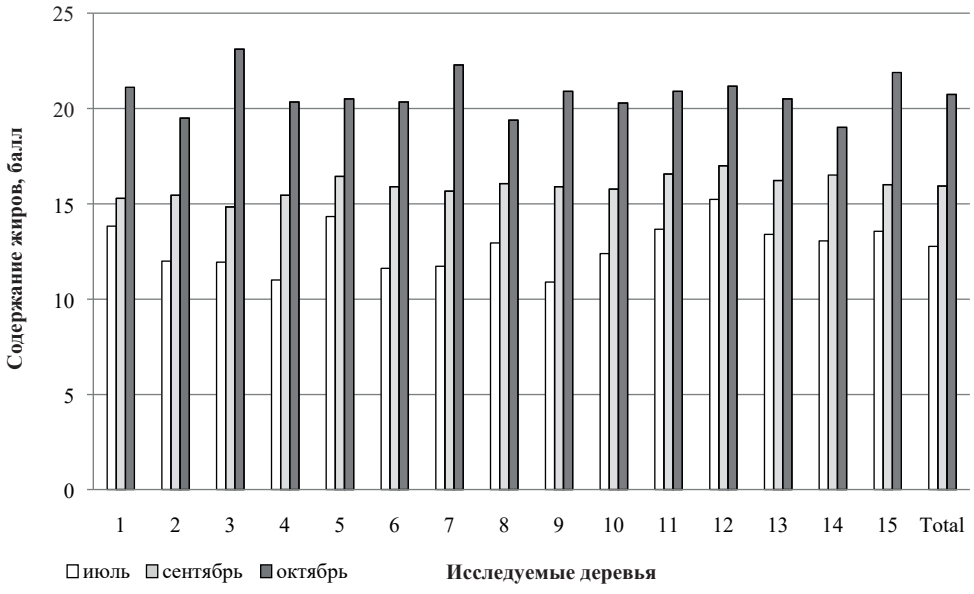
Объектами исследования послужили два вида рода ель (*Picea* A. Dietr.): аборигенный вид – ель европейская (*Picea abies* L.) и интродуцент – ель колючая форма голубая (*Picea pungens* Engelm). Исследованные деревья относятся

к одной возрастной категории, имеют семенное происхождение и территориально объединены. Нормально развитые приросты последнего года для препарирования заготавливали одновременно и равномерно с периферии среднего яруса хорошо освещенных участков кроны. Каждый вид представлен 15 деревьями, каждое дерево – 9 повторностями. Оценки проведены по трем учетам – 10 июля, 21 сентября, 20 октября 2015 г.

Из средней части побегов делали срезы, которые после окрашивания и фиксации анализировали с помощью микроскопа «Микмед-1». Наличие жиров и крахмала в клетках устанавливали дифференцированно по учетным зонам каждой из тканей: сердцевина; сердцевинные лучи; ксилема; прикамбиальная зона флоэмы; флоэма; смоляные ходы флоэмы; феллоген; корковая зона (зона паренхимных клеток, лежащая на периферии побега между феллогеном и внешней границей побега). Сравнительную оценку проводили по сумме средних значений балльных оценок всех учетных зон. В качестве контроля выступали неокрашенные срезы, с которыми сравнивали временные препараты, окрашенные тестирующими веществами [5]. Жиры фиксировали Суданом III, крахмал – качественной реакцией Люголя в соответствии с методами [13]. Была принята система балльной оценки содержания запасных веществ от 0 до 5 баллов [3–5, 8]. Статистический и дисперсионный анализы выполнены по общепринятым схемам, а также с использованием алгоритмов, разработанных авторами на кафедре лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии [1].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Исследуемые виды елей различались по показателям суммарного содержания каждого из оцениваемых запасных веществ в клетках тканей побегов (рис. 1, 2).




*а*

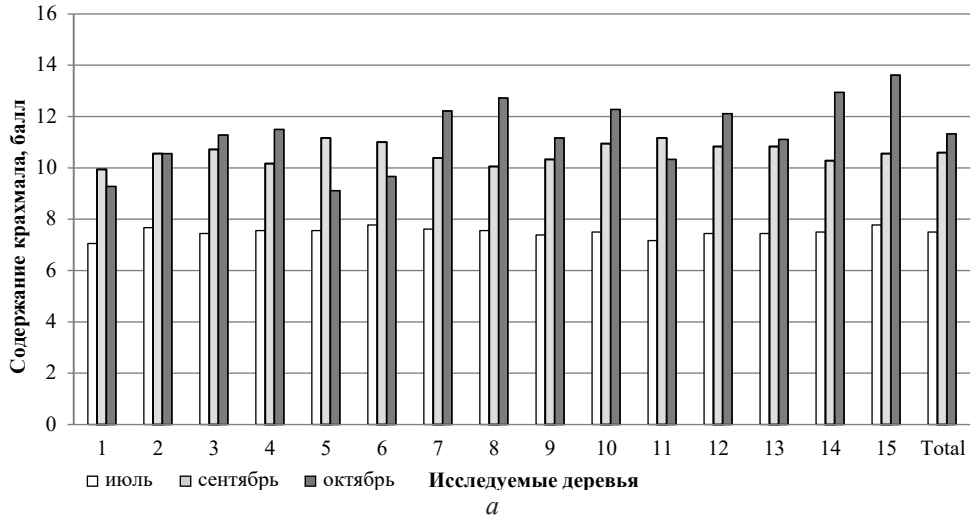
*б*

Рис. 1. Суммарное содержание жиров в клетках тканей годичных побегов (2015 г.): *а* – ель колючая форма голубая; *б* – ель европейская

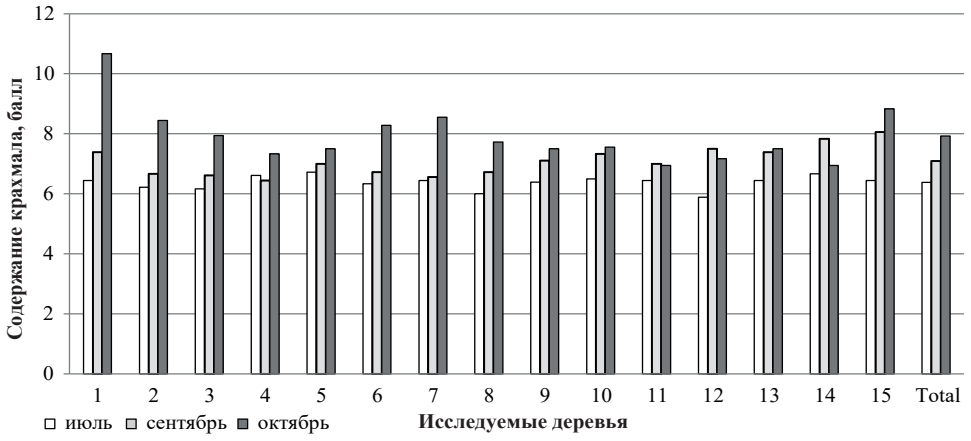
Fig. 1. The total fat content in the cells of annual shoot tissues (July, September, and October 2015): *а* – blue spruce, *б* – Norway spruce

На рис. 1, *а*, *б* видно, что с июля по октябрь происходило накопление жиров в клетках тканей годичных побегов у обоих видов. В целом накопление этого вещества по месяцам было равномерным. Количество жиров во все учетные даты у ели колючей форма голубая (рис. 1, *а*) было выше, чем у ели европейской (рис. 1, *б*). В июле у ели колючей форма голубая среднее значение суммарного содержания жиров по всем тканям составило 12,77 балла, у ели европейской – 11,18 балла, в сентябре соответственно по видам – 15,93 и 14,61 балла, в октябре – 20,74 и 16,30 балла. В пределах вида суммарное по тканям содержание данного запасного вещества оказалось мало дифференцированно.

По содержанию крахмала в клетках тканей побегов первого года просматривается та же тенденция – его количество возрастало (рис. 2, *а*, *б*).




*а*




*б*

Рис. 2. Суммарное содержание крахмала в клетках тканей годичных побегов (2015 г.): *а* – ель колючая форма голубая; *б* – ель европейская

Fig. 2. The total starch content in the cells of annual shoot tissues (July, September, and October 2015): *а* – blue spruce; *б* – Norway spruce

В июле суммарное по тканям содержание крахмала в годичных побегах ели колючей форма голубая (рис. 2, *а*) составило 7,50 баллов, у ели европейской (рис. 2, *б*) – 6,38 баллов, в сентябре – соответственно по видам 10,60 и 7,10 баллов, в октябре – 11,33 и 7,93 баллов. В пределах вида по сравнению с показателями обобщенного среднего значения признака для всего исследуемого комплекса из 30 деревьев содержание крахмала имело незначительные расхождения.

Существенные различия между объектами комплекса зафиксировал проведенный двухфакторный независимый дисперсионный анализ. Фактором А выступала видовая принадлежность, фактором В – различия между генотипами отдельных деревьев. Результаты дисперсионного анализа приведены в таблице.

**Результаты двухфакторного независимого анализа суммарного содержания запасных веществ в годичных побегах семенного потомства двух видов рода ель (*Picea pungens* Engelm. и *Picea abies L.*)**

| Показатель | Значение показателя | |
|---|---|---|
| | по Плохинскому | по Снедекору |
| *Среднее суммарное по тканям содержание жиров (июль 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 190,1/3,89(6,76) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 12,0/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора В ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 6,17/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору А ($h_A$), % | 28 | 39 |
| Сила влияния фактора по фактору В ($h_B$), % | 24 | 17 |
| Сила влияния фактора по фактору АВ ($h_{AB}$), % | 13 | 16 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 35 | 28 |
| *Среднее суммарное по тканям содержание жиров (сентябрь 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 71,39/3,89(6,76) | |

*Продолжение таблицы*

| Показатель | Значение показателя | |
|---|---|---|
| | по Плохинскому | по Снедекору |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 6,4/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора B ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 2,85/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору A ($h_A$), % | 16 | 26 |
| Сила влияния фактора по фактору B ($h_B$), % | 20 | 15 |
| Сила влияния фактора по фактору AB ($h_{AB}$), % | 9 | 10 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 55 | 49 |
| *Среднее суммарное по тканям содержание жиров (октябрь 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 744,97/3,89(6,76) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 5,8/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора B ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 4,38/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору A ($h_A$), % | 66 | 77 |
| Сила влияния фактора по фактору B ($h_B$), % | 7 | 4 |
| Сила влияния фактора по фактору AB ($h_{AB}$), % | 6 | 5 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 21 | 14 |
| *Среднее суммарное по тканям содержание крахмала (июль 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 377,5/3,89(6,76) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 1,8/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора B ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 1,9/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору A ($h_A$), % | 56 | 71 |
| Сила влияния фактора по фактору B ($h_B$), % | 4 | 1 |
| Сила влияния фактора по фактору AB ($h_{AB}$), % | 4 | 3 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 36 | 25 |
| *Среднее суммарное по тканям содержание крахмала (сентябрь 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 1384,5/3,89(6,76) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 3,0/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора B ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 2,86/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору A ($h_A$), % | 81 | 88 |
| Сила влияния фактора по фактору B ($h_B$), % | 3 | 1 |
| Сила влияния фактора по фактору AB ($h_{AB}$), % | 2 | 2 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 14 | 9 |
| *Среднее суммарное по тканям содержание крахмала (октябрь 2015 г.)* | | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_A$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 858,17/3,89(6,76) | |

*Окончание таблицы*

| Показатель | Значение показателя | |
|---|---|---|
| | по Плохинскому | по Снедекору |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора ($F_B$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 10,16/1,74(2,17) | |
| Опытные значения критерия Фишера для фактора B ($F_{AB}$)/критическое значение $F_{05}$ ($F_{01}$) | 16,96/1,74(2,17) | |
| Сила влияния фактора по фактору A ($h_A$), % | 58 | 66 |
| Сила влияния фактора по фактору B ($h_B$), % | 10 | 5 |
| Сила влияния фактора по фактору AB ($h_{AB}$), % | 16 | 19 |
| Сила влияния фактора по фактору Z ($h_Z$), % | 16 | 10 |

Примечание. Фактор A – межвидовое различие исследуемых видов рода ель (*Picea pungens* Engelm. и *Picea abies* L.); фактор B – различия между деревьями внутри одного вида; фактор AB – взаимодействие факторов A и B; фактор Z – средовая компонента, влияние независимого фактора.

Приведенные в таблице материалы показывают, что влияние всех факторов на 5 %-м уровне значимости достоверно, о чем свидетельствует величина опытных значений критерия Фишера, которые были выше критических.

Основное расхождение по суммарному по тканям содержанию жиров и крахмала в клетках тканей годичных побегов определяет фактор A, т. е. межвидовое различие. Влияние факторов B (различия между деревьями) и AB (взаимодействие факторов) выражено в меньшей степени; фактор Z (средовая компонента) оказывал значительное влияние на содержание запасных веществ в клетках тканей.

Отмечено, что более высокими показателями содержания запасных веществ характеризовалась ель колючая форма голубая. В среднем в клетках ее тканей содержится в 1,3 раза больше запасных веществ, чем у ели европейской. Это согласуется с литературными данными о том, что виды с широким климатическим ареалом в северной его части содержат больше жиров, чем в южной [6, 15].

При рассмотрении динамики запасных веществ обнаружено, что пик содержания крахмала у аборигенного вида (ель европейская) наступает в более ранние сроки – в конце лета. Ель колючая форма голубая (интродуцент) способна к накоплению крахмала более длительный период. Вместе с тем отмечена тенденция к возврату интенсивного вегетирования ели европейской теплой осенью.

Очевидно, что причиной роста содержания запасаемого крахмала, характерного преимущественно для периода активного роста, явилась специфическая погода в конце лета – начале осени в год исследований. В последней декаде августа отмечалась холодная погода (дневные температуры опускались до 9 °С) и только в середине сентября (с 14.09 по 30.09) установилось длительное потепление без осадков. Необходимо отметить инерционность процессов накопления запасных веществ и возникновение временного сдвига в его проявлении. Так, похолодание не моментально тормозит фотосинтез, а потепление также не мгновенно отражается на повышении накопления запасаемого крахмала.

Содержание жиров в клетках годичных побегов может служить индикатором состояния покоя исследованных видов и, напротив, снижение жиров

в тканях может свидетельствовать о выходе растений из состояния покоя, что является важным показателем при заготовке черенков для укоренения. Увеличение содержания жиров в клетках тканей говорит о подготовке растения к неблагоприятным условиям зимнего сезона.

*Заключение*

Получены новые сведения о межвидовых различиях ели европейской и ели колючей форма голубая по суммарному содержанию основных запасных веществ в клетках тканей годичных побегов в период перехода растений к состоянию покоя в конце вегетационного периода. Зафиксировано наличие внутривидовой изменчивости исследуемых физиологических показателей. Определен уровень совместного влияния видовой и генотипической принадлежности на выявленные различия по содержанию жиров и крахмала в клетках тканей годичных побегов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Храмова О.Ю., Орнатский А.Н., Горелов Н.И.* Дисперсионный анализ многоуровневых иерархических комплексов: метод. указания для студентов и аспирантов по специальности 25020165 – лесное хозяйство. Н. Новгород: НГСХА, 2012. 33 с. [Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Khramova O.Yu., Ornatskiy A.N., Gorelov N.I. *Analysis of Variance of Multilevel Hierarchical Systems*: Methodology Guidelines. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2012. 33 p.].

2. *Бессчетнова Н.Н.* Содержание запасных веществ и ход лигнификации в тканях побегов у вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и пути их решения: сб. науч. ст. по материалам науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию НГСХА. Н. Новгород, 2005. С. 20–28. [Besschetnova N.N. The Content of Reserve Substances and Lignification Flow in the Tissues of Vegetative Progeny Shoots of Scots Pine Plus Trees. *Actual Forestry Issues of Nizhny Novgorod Region and Ways of Their Solution: Collection of Academic Papers Based on the Proceedings of the Scientific and Practical Conference Dedicated to the 75th Anniversary of NNSAA*. Nizhny Novgorod, 2005, pp. 20–28].

3. *Бессчетнова Н.Н.* Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах // Вестн. МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2. С. 49–56. [Besschetnova N.N. Comparative Estimation of Starch Content in the Sprouts of Scotch Pine Plus-Trees. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye*, 2010, no. 2, pp. 49–56].

4. *Бессчетнова Н.* Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Селекционный потенциал плюсовых деревьев. Саарбрюккен: 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.].

5. *Бессчетнова Н.Н.* Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 48–55. (Изв. высш. учеб. заведений). [Besschetnova N.N. Fat Content in Shoot Cells of Scotch Pine Elite Trees. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 4, pp. 48–55]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/a5f/bpbg6.pdf

6. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В.* Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea* A. Dietr.) в условиях интродукции // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 57–68. (Изв. высш. учеб. заведений). [Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova A.V., Mishukova I.V. Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (*Picea* A. Dietr.) in Introduction. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 57–68]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/3d8/besschetnova.pdf

7. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Широков А.И.* Корреляция содержания крахмала в тканях побегов представителей рода ель (*Picea* A. Dietr.) // Вестн. Казан. ГАУ. 2018. Т. 13, № 2(49). С. 19–22. [Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kulkova A.V., Shirokov A.I. Correlation of Starch Content in Tissue of *Picea* A. Dietr. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], 2018, vol. 13, no. 2(49), pp. 19–22]. DOI: 10.12737/article_5b34ff5f201623.29401443; URL: http://www.vestnik-kazgau.com/images/archive/2018/2/bechetnov.pdf

8. *Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В.* Сравнительная оценка представителей рода ель (Picea L.) по содержанию жиров в тканях годичных побегов // Научные и инновационные разработки молодых ученыхаграриев: сб. тр. молодых ученых НГСХА за 2014–2015 гг. Н. Новгород, 2015. С. 53–58. [Besschetnova N.N., Kulkova A.V. Comparative Evaluation of the Genus Spruce (*Picea* L.) Representatives by the Fat Content in Annual Shoot Tissues. *Scientific and Innovative Solutions of Young Agricultural Scientists: Collected Papers of Young Scientists of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy for 2014–2015*. Nizhny Novgorod, 2015, pp. 53–58].

9. *Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М.* Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наук. думка, 1964. 388 с. [Grodzinskiy A.M., Grodzinskiy D.M. *Short Reference Book on Plant Physiology*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1964. 388 p.].

10. *Крамер П.Д., Козловский Т.Т.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 462 с. [Kramer P.D., Kozlowski T.T. *Physiology of Woody Plants*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 462 p.].

11. *Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.* Многопараметрический анализ в оценке видоспецифичности представителей рода ель (Picea) // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 23–38. (Изв. высш. учеб. заведений). [Kul'kova A.V., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Multivariable Analysis in the Assessment of Spruce Species Specificity (*Picea*). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 23–38]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.23; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/c02/23_38.pdf

12. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с. [Lir H., Polster G., Fidler G.I. *Physiology of Woody Plants*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 424 p.].

13. *Прозина Н.М.* Ботаническая микротехника: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1960. 205 с. [Prozina N.M. *Botanical Microengineering*: Educational Textbook. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960. 205 p.].

14. Andersone U., Ievinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. *Annals of Botany*, 2002, vol. 90, iss. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176

15. Brahim M.B., Loustau D., Gaudillère J.P., Saur E. Effects of Phosphate Deficiency on Photosynthesis and Accumulation of Starch and Soluble Sugars in 1-Year-Old Seedlings of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Annals of Forest Science*, 1996, vol. 53, no. 4, pp. 801–810. DOI: 10.1051/forest:19960401

16. Dover C., Ziegler P., Kandler O. Kalteresistenz der Fichte. I. Steuerung von Kalteresistenz, Kolenhydrat und Proteinstoffwechsel durch Protoperiode und Temperatur. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 1979, Bd. 92, N. 1, S. 225–241.

17. Eerikäinen K., Valkonen S., Saksa T. Ingrowth, Survival and Height Growth of Small Trees in Uneven-Aged *Picea abies* Stands in Southern Finland. *Forest Ecosystems*, 2014, vol. 1, art. 5. DOI: 10.1186/2197-5620-1-5

18. Jiménez M.D., Pardos M., Puértolas J., Kleczkowski L.A., Pardos J.A. Deep Shade Alters the Acclimation Response to Moderate Water Stress in *Quercus suber* L. *Forestry*, 2009, vol. 82, iss. 3, pp. 285–298. DOI: 10.1093/forestry/cpp008

19. Mencuccini M., Hölttä T. The Significance of Phloem Transport for the Speed with which Canopy Photosynthesis and Belowground Respiration are Linked. *New Phytologist*, 2010, vol. 185, iss. 1, pp. 189–203. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03050.x

20. Sauter J.J. Temperature-Induced Changes in Starch and Sugars in the Stem *Populus × canadensis «robusta»*. *Journal of Plant Physiology*, 1988, vol. 132, iss. 5, pp. 608–612. DOI: 10.1016/S0176-1617(88)80263-3

21. Schaberg P.G., Snyder M.C., Shane J.B., Donnelly J.R. Seasonal Patterns of Carbohydrate Reserves in Red Spruce Seedlings. *Tree Physiology*, 2000, vol. 20, iss. 8, pp. 549–555. DOI: 10.1093/treephys/20.8.549

22. Woodruff D.R., Meinzer F.C. Water Stress, Shoot Growth and Storage of Non-Structural Carbohydrates along a Tree Height Gradient in a Tall Conifer. *Plant, Cell & Environment*, 2011, vol. 34, iss. 11, pp. 1920–1930. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x

## THE CONTENT OF RESERVE NUTRIENTS IN THE CELLS OF ANNUAL SHOOT TISSUES OF THE REPRESENTATIVES OF THE SPRUCE (*Picea* L.) GENUS IN NIZHNY NOVGOROD REGION

***N.N. Besschetnova,*** *Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: H-1343-2019, ORCID: 0000-0002-7140-8797*
***A.V. Kul'kova,*** *Senior Lecturer, Postgraduate Student; ResearcherID: G-9517-2019, ORCID: 0000-0001-5200-233X*
Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: kulkova12@gmail.com

The crucial issue of modern age is creation and maintenance of an ecologically friendly environment in urban areas. One of the ways of its solution is adaptive selection of tree and shrub species (both natives and exotic) used for green construction. The performance of this work depends on the application of scientific knowledge about the ecological and physiological state of each species. This determines the need for assessment of adaptive capacity of the speciess used for greening. An important role in the formation and development of trees and shrubs, including members of the spruce (*Picea* A. Dietr.) genus, plays the content of reserve nutrients in the tissues. A sufficient number of them promotes active growth and development of the shoot, rooting of cuttings and resistance to unfavorable external factors. The research subjects were two species of the spruce (*Picea* A. Dietr.) genus: indigenous species – Norway spruce (*Picea abies* L.) and introduced species – blue spruce (*Picea pungens* Engelm). The starch content in the cells of annual shoot tissues was revealed by qualitative reaction solution (Lugol's iodine); fats were recorded with Sudan III. After staining with appropriate reagents and fixation, cuts were analyzed with a microscope. The assessment of the reserve substances content was given on the cross-section of the scion for each accounting area separately and in the total score for all accounting areas using the 6-point scale we proposed. It was found that the cells of blue spruce tissues contain more reserve substances than the cells of Norway spruce tissues on all accounting dates. The significance of these differences was confirmed by the two-way analysis of variance. The inertia of photosynthesis with a change in temperature is noted. The fat content may be an indicator of the status of a plant and its readiness for the growing season or to transition into resting state. The data obtained allow optimizing the work in the nurseries and rooting of cuttings more effectively.
***For citation:*** Besschetnova N.N., Kul'kova A.V. The Content of Reserve Nutrients in the Cells of Annual Shoot Tissues of the Representatives of the Spruce (*Picea* L.) Genus in Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 52–61. DOI: 10.17238/ issn0536-1036.2019.6.52

*Keywords:* spruce, fat content, starch content, reserve substances, introduction.

Поступила 22.01.19 / Received on January 22, 2019

УДК 631.46
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

# МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ ЛАНДШАФТОВ КАМЕННОЙ СТЕПИ

***М.Ю. Сауткина*[1]*, канд. с.-х. наук;*** *ORCID: 0000-0001-9244-1177*
***Ю.И. Чевердин*[2,3]*, д-р биол. наук;*** *ORCID: 0000-0002-9905-0547*
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087;
e-mail: sautmar@mail.ru
[2]Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева, д. 81, кв. 5, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463; e-mail: cheverdin62@mail.ru
[3]Каменно-Степное опытное лесничество, д. 64а, кв. 3, пос. 2-го участка Института им. В.В. Докучаева, Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, 397463;
e-mail: cheverdin62@mail.ru

Содержание микробной биомассы является наиболее информативным индикаторным признаком для ранней диагностики состояния почв. Почвенные микроорганизмы поддерживают гомеостаз лесных экосистем благодаря уникальной способности быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды. В статье представлены результаты микробиологической оценки почв, проводимой в рамках комплексных мониторинговых исследований лесных экосистем Каменной Степи. В качестве объектов служили различные объекты агролесомелиоративного стационара: залежь косимая 1882 г.; лесная полоса № 40 1903 г. закладки, расположенная на водораздельном участке; лесная полоса № 133 1950 г. посадки; лесная полоса № 131 1959 г. посадки. Дополнительно в схему исследований были включены пахотные участки, прилегающие к лесным полосам № 40, 133 (водораздел, склон). Целью исследования являлось определение биологической активности почв Каменной Степи, а также направленности и интенсивности почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории. Общую численность и структуру эколого-трофических групп микробного сообщества определяли по методике Е.З. Теппер путем высева на плотные питательные среды. Показано, что почвенный покров под древесными насаждениями характеризуется более высоким содержанием аммонификаторов и актиномицетов. Интенсивное сельскохозяйственное использование земель существенным образом снижает интенсивность микробиологических процессов. Проведенные исследования позволяют утверждать, что наиболее благоприятные условия для развития микромицетов складываются в почвах под древесной и аборигенной степной растительностью. Вовлечение черноземов в активное сельскохозяйственное производство приводит к снижению численности грибной микрофлоры. Выявлено повышенное содержание нитрификаторов на пахотных участках. Угодья с древесной растительностью и степными ценозами имели меньшие показатели и несколько уступали агрогенным почвам. Ежегодная обработка почв имеет решающее значение и способствует увеличению активности колоний бактерий рода *Azotobacter* на пахотных участках. Под древесными культурами и степной растительностью в большинстве случаев она значительно меньше, для исследуемых почв рассчитаны коэффициенты минерализации. В связи с тем, что данные коэффициенты во всех исследуемых объектах выше единицы (за исключением поля, находящегося под озимой пшеницей и граничащего с лесополосой № 133), можно сделать вывод, что процессы минерализации почвенного органического вещества преобладают над разложением органических остатков.

***Для цитирования:*** Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И. Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агролесомелиоративных ландшафтов Каменной Степи // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 62–78. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

***Финансирование:*** Работа выполнена в рамках государственного задания Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии.

*Ключевые слова:* лесные полосы, агролесомелиоративный комплекс, микробный пул, биологическая активность почв.

## *Введение*

Создание лесных культур в нашей стране имеет более чем 300-летнюю историю. Уже к концу XIX в. был накоплен значительный практический опыт в лесокультурном деле. До революции в лесостепных и степных районах было создано всего 0,6 млн га лесных полос, а за всю историю лесоразведения в России – более 5,0 млн га защитных лесных насаждений, в том числе 2,9 млн га полезащитных лесных полос [19, 21, 27]. К сожалению, сохранились только 1,2 млн га. Сегодня искусственные леса являются важной составной частью единой системы леса. Их можно охарактеризовать как открытую биологическую систему, управляемую человеком в нужном для него хозяйственном направлении [13].

Наиболее важное значение защитное лесоразведение имеет в Центрально-Черноземном регионе (ЦЧР), где распахано около 70 % земель и который характеризуется широкой сетью овражно-балочных систем, повторяющимися засухами, усиливающейся антропогенной нагрузкой в условиях меняющегося в последние десятилетия климата. Данные факторы в первую очередь наносят огромный ущерб почвенному покрову [27]. Известно, что защитные лесные насаждения обладают высокой способностью регулировать атмосферные явления, восстанавливать экологический баланс в деградированных ландшафтах и служат одним из основных препятствий, сдерживающих процессы остепнения южных районов ЦЧР [15, 18]. Создание лесных полос связано с особенностями биологии древесных пород, проблемами агротехники выращивания, долговечности, оптимальной густоты, породного состава и др. Посадка – основной прием их организации.

В России примером коренного переобустройства территории путем создания рукотворного агролесомелиоративного комплекса является Каменная Степь – уникальный научный объект, который вот уже более 125 лет изучают специалисты различного профиля: почвоведы, геологи, геоботаники, географы, климатологи, зоологи, агрономы, мелиораторы и др. Анализ почвенного покрова изначально был одной из центральных задач исследования природы Каменной Степи [28]. На основе его результатов и в комплексе с данными других компонентов природы вырабатывались способы и приемы рациональной организации территории для экономически эффективного и экологически сбалансированного развития региона [26]. Согласно теории лесных культур М.В. Колесниченко [9], выращиваемые древесные породы и насаждения в целом должны соответствовать лесорастительным условиям, в первую очередь климату и почвам. Поэтому и обратный процесс – влияние древесных пород на почвы, также актуален.

Почвенные микроорганизмы, являясь стабилизаторами экосистем, способствуют завершению многих биогеохимических циклов. Они регулируют потоки всех парниковых газов, поступающих из почвы в атмосферу [31, 32]; благодаря уникальной способности быстро адаптироваться к меняющимся условиям среды и очень высокой скорости размножения, обеспечивающей колонизацию поступающего субстрата, поддерживают гомеостаз лесных экосистем [17, 29, 30, 34–36]. Микробный пул почв является самым богатым субстратом на Земле. Выживаемость микробов в почве при неблагоприятных и стрессовых условиях максимальна по сравнению с другими средами обитания. Известно, что среднее количество бактерий в микробном пуле почвы составляет около 70 %, актиномицетов – 30 %, грибов – 1…3 % [26]. Структурные и количественные перестройки эколого-трофических групп микроорганизмов отражают направленность почвенно-биологических процессов и позволяют оценить состояние почв [2, 6, 25].

Несмотря на неплохую изученность биологической активности лесных почв и почв, включенных в сельскохозяйственное производство [7, 20], некоторые вопросы остаются неясными. В частности, не установлены направленность и интенсивность протекания почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории, недостаточно выявлены взаимосвязи между численностью микроорганизмов и содержанием гумуса и кислотностью почв.

Целью исследования являлось определение биологической активности почв Каменной Степи, а также направленности и интенсивности почвенно-биологических процессов при агролесокультурном обустройстве территории.

### *Объекты и методы исследования*

Объектами исследования служили три полезащитные разновозрастные лесные полосы (ЛП) Каменной Степи. № 133 направлена с запада на восток; располагается на водораздельном участке на трех типах местности – плакорном, междуречном недренированном и склоновом; состоит из трех литер (*а*, *б*, *в*); 1950 г. посадки гнездовым способом; автор Е.С. Павловский. ЛП № 40, созданная на приводораздельном участке возвышенно-равнинного положения; состоит из 15 литер; 1903 г. посадки; автор Н.А. Михайлов. ЛП № 131 располагается на пологом склоне восточной экспозиции к балке Таловая; состоит из 5 литер (*а – д*); склоновый тип местности; 1949–1950 гг. посадки; автор Н.Ф. Зубович; в северной ее половине размещены гнездовые посевы дуба, в южной – рядовые посевы и посадки по коридорным схемам. Дополнительно в схему исследований включены пахотные участки, прилегающие к ЛП № 133 (плакор и склон), и пашня возле ЛП № 40. В качестве контроля использовали ежегодно выкашиваемые залежи различной ландшафтной принадлежности (плакор и склон 3...5°), которые не распахивались с 1892 г., растительный покров на них практически полностью восстановился до исходного состояния разнотравно-ковыльной степи.

Микробиологическую оценку проводили в рамках комплексных мониторинговых исследований лесных экосистем Каменной Степи. Для почвенно-микробиологического изучения отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого исследуемого объекта из верхнего органоминерального

слоя почвы (0...30 см) в 10 повторностях [14] в конце июля 2018 г. Анализ проводили на свежих образцах, хранившихся не более 24 ч при температуре 5 °С. Общую численность и структуру эколого-трофических групп микробного сообщества определяли по методике Е.З. Теппер [24] путем высева на плотные питательные среды, количество аммонификаторов – на мясопептонном агаре (МПА); бактерии, использующие минеральные формы азота, и актиномицеты – на крахмал-аммиачном агаре (КАА); клетчатковые микроорганизмы – на среде Виноградского; азотобактер – на почвенных пластинах; нитрифицирующие бактерии – на выщелоченном агаре; минерализаторы гумуса – на нитратном агаре.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Преобразование природы естественных степей в высокоинтенсивный агролесокультурный ландшафт с интенсивным антропогенным воздействием, несомненно, затрагивает течение почвообразовательных процессов. В связи с этим существенный интерес представляют оценка мощности генетических горизонтов чернозема и их трансформации под влиянием изменившихся условий функционирования.

Максимальные значения средней мощности генетических горизонтов имели почвы залежи косимой. Нижняя граница темногумусового горизонта находилась на уровне (78,24±3,99) см, что существенно отличает залежь от остальных угодий (табл. 1).

Таблица 1

**Мощность генетических горизонтов (см)**

| Статистический показатель | Залежь косимая | | ЛП № 40 | | Пашня 1952 г. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | AU | AUb | AU | AUb | PU | AUb |
| Среднее | 41,20 | 78,24 | 44,30 | 73,90 | 26,90 | 64,40 |
| Стандартная ошибка | 1,09 | 3,99 | 1,11 | 1,64 | 1,21 | 2,60 |
| Стандартное отклонение | 4,98 | 18,29 | 7,01 | 10,38 | 4,68 | 10,06 |
| Дисперсия выборки | 24,8 | 334,5 | 49,1 | 107,7 | 21,9 | 101,3 |

Примечание. AU – верхний темногумусовый горизонт; AUb – общая мощность гумусового горизонта; PU – агротемногумусовый горизонт.

Наиболее заметное снижение общей мощности темногусусового горизонта отмечается на пашне 1952 г. – (64,40±2,60) см. Таким образом, за период, прошедший с момента распашки (62 года), потери гумусового горизонта составили 13,80 см, или 0,22 см ежегодно. При этом наиболее заметные потери отмечены для горизонта AU. Если на залежи косимой мощность равнялась (41,24±1,09) см, то в почве пашни 1952 г. – всего (26,93±1,21) см.

Можно было ожидать, что чернозем под лесной полосой будет отличаться более активным процессом увеличения гумусового горизонта за счет листового опада. Однако увеличения мощности темногумусового горизонта нами не установлено. Мощность горизонта AUb в данном случае составила (73,90±1,64) см, но при этом мощность верхнего (наиболее гумусированного) горизонта AU была максимальной для всех исследованных угодий – (44,30±1,11) см. Эти изменения связаны, по всей видимости, с изменившимся характером почвообра-

зовательного процесса под лесной полосой. Продукты распада растительных остатков концентрируются в верхних горизонтах и существенной миграции в нижние слои почвы не наблюдается.

Важным компонентом почвенных свойств является содержание органического вещества. Почвы Каменной Степи отличаются высоким содержанием гумуса. Проведенные нами исследования показали, что максимальное значение этого показателя отмечается в почвах залежи косимой, расположенной на водоразделе, среднее его значение (10,01±0,17) % при крайних граничных значениях 8,11 % (минимум) и 11,14 % (максимум) – в слое почвы 0...20 см (табл. 2).

Таблица 2

**Взаимосвязь общей численности микроорганизмов с содержанием гумуса и кислотностью черноземов**

| Угодье | Общая численность микроорганизмов, млн КОЕ/г | Гумус, % | $pH_{H_2O}$ |
|---|---|---|---|
| ЛП № 133, склон | 36,10 | 6,65±0,19 | 6,62±0,22 |
| Пахотный участок возле ЛП № 133, склон | 36,95 | 5,64±0,14 | 7,23±0,26 |
| ЛП № 133, плакор | 43,33 | 7,89±0,28 | 6,45±0,18 |
| Пахотный участок возле ЛП № 133 плакор | 36,96 | 6,22±0,18 | 7,42±0,29 |
| ЛП № 40 | 40,58 | 9,38±0,16 | 6,75±0,20 |
| Залежь косимая, плато возле ЛП № 40 | 43,49 | 10,01±0,17 | 7,17±0,21 |
| Пахотный участок возле ЛП № 40 | 38,94 | 6,84±0,17 | 7,04±0,15 |
| Залежь косимая на склоне | 49,45 | 8,65±0,23 | 7,25±0,19 |
| ЛП № 131 | 57,28 | 7,46±0,19 | 7,10±0,23 |

Коэффициент вариации содержания гумуса составил 7,91 %. На залежи, расположенной на склоне (до 5°), гумусированность несколько уступала и отмечена на уровне (8,65±0,23) %. В почвах под лесной полосой продолжают сохраняться благоприятные условия для генезиса черноземов и гумусонакопления. При этом необходимо отметить более низкий уровень содержания гумуса под ЛП по отношению к почвам залежи. Под широкой ЛП № 40, расположенной на водоразделе, среднее содержание гумуса в слое 0...20 см составило (9,38±0,16) %, что на 0,63 % ниже, чем у почв, занятых естественной растительностью. Интенсивное сельскохозяйственное использование существенным образом снизило содержание гумуса в пахотных почвах. Минимальное его значение отмечено для пахотного участка на склоне – всего (5,64±0,14) %, что на 1,2 % ниже аналога на водораздельном участке.

В научной литературе высказывается мнение о существенной связи биологической активности почв с кислотностью и содержанием органического вещества [7, 33]. Проведенные нами исследования не подтвердили это предположение. В черноземных почвах связь общего количества бактерий с содержанием гумуса была средней. Коэффициент корреляции составил всего

r = 0,37±0,06 при критерии существенности $t_{факт} = 6,2 > t_{теор} = 2,37$. Более высокая взаимосвязь отмечена между отдельными компонентами структур микробного ценоза и гумусовым состоянием. Коэффициент корреляции между численностью микромицетов и содержанием гумуса равен 0,48±0,05 при критерии существенности $t_{факт} = 9,5 > t_{теор} = 2,37$, между количеством целлюлозолитиков и гумусовым состоянием – 0,51 ± 0,05 при $t_{факт} = 10,2 > t_{теор} = 2,37$.

Связь кислотности чернозема сегрегационного с общей численностью микроорганизмов была незначительна – всего r = 0,12.

Таким образом, можно констатировать, что для черноземных высокобуферных почв средне- и высокогумусированных биологическая активность во многом определяется характером использования угодий. Общей закономерностью является снижение количества микроорганизмов при интенсивном сельскохозяйственном использовании. Лесные ценозы сохраняют биологическую активность на уровне естественных степных угодий или даже несколько ее увеличивают.

Важным составляющим комплекса почвенной биоты служат аммонификаторы. Они принимают активное участие в трансформации свежего органического вещества, поступающего в почву в виде растительных остатков и отмерших корней растений. Данные микроорганизмы произрастают на МПА [24]. Наиболее активны в осуществлении процесса аммонификации представители семейства *Bacilaceae* рода *Bacillus* и рода *Clostridium*, семейства *Enterobacteriaceae* рода *Proteus*, семейства *Pseudomonodaceae* рода *Pseudomonas* [16]. Природное плодородие черноземов обусловлено аккумулирующей деятельностью именно этой гетеротрофной группы микроорганизмов [10].

В результате исследований установлено, что почвенный покров под древесными насаждениями характеризуется более высоким содержанием аммонификаторов. Их количество варьировало от 9,94 до 13,91 млн КОЕ/г почвы. Во многом это обусловлено ежегодным поступлением в почву свежего органического материала. Максимальное их количество отмечено в почве ЛП № 131 – 13,91 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Несколько более низкими показателями общей численности характеризуются почвенные образцы ЛП № 133 на плакорном типе местности и примыкающего к нему пахотного участка поля, занятого озимой пшеницей, – соответственно 10,76 и 10,56 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). На склоне полосы № 133 представительство данной группы микроорганизмов значительно ниже (7,94 млн КОЕ/г почвы). Вероятно, это можно объяснить ослабленным жизненным состоянием деревьев дуба в литере *в*, менее развитыми у них кроной и корневой системой, и, как следствие, меньшим количеством отмирающей биомассы, поступающей в почву [23]. Данные численности гетеротрофной группы почвенных микроорганизмов соответствуют тем общим тенденциям направленности микробиологических процессов в лесных биогеоценозах, которые обсуждаются в литературе [8].

Усиленное сельскохозяйственное использование земель существенным образом изменяет интенсивность микробиологических процессов. Поэтому минимальным содержанием аммонификаторов характеризуются почвенные образцы пахотных участков на склоне (ЛП № 133, литер *в*) и поля под озимой пшеницей, примыкающего к ЛП № 40, – 6,55 и 6,40 млн КОЕ/г почвы соответственно (см. табл. 1).

Нами показано, что наиболее многочисленной группой гетеротрофного комплекса почвенных микроорганизмов являются иммобилизаторы легкодоступного углерода. Они принимают активное участие в процессах трансформации органических соединений растительного происхождения. Данная группа микроорганизмов использует минеральные формы азота для построения собственных клеток и хорошо произрастает на среде КАА [4]. Численность иммобилизаторов максимальна в почвенных образцах ЛП № 131 – 19,89 млн КОЕ/г почвы. Несколько меньшее их количество отмечено на пашне, примыкающей к ЛП № 40, и на участке ЛП № 133 на плакоре – 18,67 и 18,49 млн КОЕ/г почвы соответственно (табл. 3). На косимой залежи выявлено некоторое снижение их численности. Минимальное количество данной группы прокариот отмечено в почвенных образцах поля, примыкающего к плакорной части ЛП № 133 и занятого озимой пшеницей, – 10,82 млн КОЕ/г почвы, а также на ее склоне – 12,58 млн КОЕ/г почвы и 14,85 млн КОЕ/г почвы (поле под яровым ячменем) (табл. 3).

Актиномицеты играют существенную роль в деструкции и синтезе сложных органических соединений благодаря большому набору разнообразных ферментов, входящих в их состав. Их численность также учитывалась на среде КАА. Актиномицеты являются гетеротрофными микроорганизмами, интенсивно разлагающими белки с образованием аммиака. Из минеральных источников азота они лучше всего усваивают азот нитратов. При недостаточном углеродном питании они

Таблица 3

**Микробиологическая активность почвы под различными угодьями Каменной Степи**

| Вариант | млн КОЕ/г | | | | тыс. КОЕ/г | | | КОЕ/50 г |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | МПА | КАА | Актиномицеты | Минерализаторы гумуса | Микромицеты | Нитрификаторы | Клетчатковые | Азотобактер |
| ЛП № 133, склон | 7,94±0,20 | 14,85±0,31 | 3,58±0,12 | 9,73±0,18 | 34,56±0,55 | 0,38±0,02 | 38,40±1,89 | 0 |
| Пахотный участок возле ЛП № 133, склон | 6,55±0,18 | 12,58±0,29 | 2,62±0,08 | 15,20±0,23 | 34,06±0,41 | 0,54±0,03 | 55,02±1,78 | 203±10,45 |
| ЛП № 133,плакор | 10,76±0,29 | 18,49±0,38 | 3,04±0,11 | 11,04±0,12 | 53,82±0,62 | 0,51±0,03 | 66,24±1,69 | 53±1,89 |
| Пахотный участок возле ЛП № 133, плакор | 10,56±0,25 | 10,82±0,15 | 2,38±0,09 | 13,20±0,25 | 30,36±0,48 | 0,57±0,02 | 55,44±1,03 | 315±10,68 |
| ЛП № 40 | 9,94±0,21 | 13,25±0,25 | 3,04±0,11 | 14,35±0,18 | 34,50±0,59 | 0,59±0,03 | 71,76±2,10 | 26±1,16 |
| Залежь, косимая на плато возле ЛП № 40 | 7,34±0,12 | 17,03±0,32 | 3,14±0,06 | 15,98±0,29 | 51,09±0,46 | 0,44±0,02 | 78,60±1,98 | 20±1,12 |
| Пахотный участок возле ЛП № 40 | 6,40±0,09 | 18,67±0,41 | 3,47±0,14 | 10,40±0,28 | 20,32±0,29 | 0,55±0,01 | 53,34±0,95 | 493±11,41 |
| Залежь, косимая на склоне | 9,94±0,28 | 16,93±0,36 | 2,96±0,09 | 19,62±0,36 | 38,40±0,59 | 0,49±0,03 | 51,07±1,59 | 545±11,84 |
| ЛП № 131 | 13,91±0,32 | 19,89±0,42 | 2,90±0,08 | 20,58±0,41 | 48,30±0,63 | 0,54±0,02 | 89,84±2,76 | 36±1,43 |

способны использовать углерод азотистых соединений [1]. Данная группа почвенных микроорганизмов доминирует на поздних стадиях развития микробных сукцессий, когда складываются условия для использования труднодоступных субстратов [4].

Максимальная численность актиномицетов характерна для почвенных образцов лесной полосы № 133 (склон) и поля под озимой пшеницей, примыкающего к полосе № 40, – соответственно 3,58 и 3,47 млн КОЕ/г почвы. Меньшее их количество выявлено в почве лесной полосы № 40 и прилегающей к ней косимой залежи – соответственно 3,04 и 3,14 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Минимальная численность отмечена в почвенных образцах пахотных угодий, занятых яровым ячменем и озимой пшеницей, рядом с лесной полосой № 133, – соответственно 2,62 и 2,38 млн КОЕ/г почвы. Известно, что актиномицеты являются прокариотами, крайне требовательными к содержанию кислорода. В случае, если свободный кислород уже использован другими аэробными микроорганизмами, развивающимися на более ранних этапах формирования микробной сукцессии, то их развитие может быть несколько снижено [4]. Численные взаимоотношения актиномицетов и иммобилизаторов углерода (среда КАА) хорошо коррелируют друг с другом ($r = 0,518$).

Почвенные микроскопические грибы относятся к основным деструкторам растительных остатков. В почве присутствует огромное их количество. По эколого-трофическим признакам их можно разделить на три группы: 1 – облигатные паразиты, не способные расти и размножаться, присутствуют в почве в виде спор; 2 – факультативные паразиты, которые могут жить и размножаться в почве неограниченно; 3 – почвенные сапрофитные грибы, которым принадлежит существенная роль в почвообразовательных процессах. Систематический их состав очень разнообразен. Сюда входят представители всех классов грибов – от простейших до высших базидиальных [1, 3]. Почвенные микромицеты крайне чувствительны к аэрации, поэтому максимальная их численность встречается в хорошо структурированных почвах с доступом к кислороду и экзогенным органическим веществам. Так, по данным Е.С. Василенко и др. [4], количество грибных зачатков максимально в почвенных агрегатах менее 0,25 мм, а по мере увеличения размеров агрегатов численность зачатков уменьшается.

Полученные нами в ходе исследований результаты позволяют утверждать, что наиболее благоприятные условия для развития микромицетов складываются в почвах под древесной и аборигенной степной растительностью. Вовлечение черноземов в активное сельскохозяйственное производство приводит к снижению численности грибной микрофлоры. Максимальное количество грибных зачатков содержится в черноземах под лесной полосой № 133 (плакор) и косимой залежи – соответственно 53,82 и 51,09 тыс. КОЕ/г почвы, минимальное – в почве пахотных угодий, занятых озимой пшеницей, вблизи лесных полос № 40 и 133 – соответственно 20,32 и 30,36 тыс. КОЕ/г почвы (табл. 3). Такую разницу в численности почвенных грибов можно объяснить различиями запасов фитомассы вегетативных частей растений, поступающих в почву при отмирании. На полях с возделываемыми сельскохозяйственными культурами основная часть фитомассы отчуждается вместе урожаем, в лесных полосах бóльшая часть опавшей листвы и отмирающих корней деревьев остается внутри данного фитоценоза. В условиях интенсификации сельского

хозяйства рост урожаев сопровождается увеличением выноса всех элементов питания. Так, согласно данным М.Ю. Сауткиной [22], вынос азота с основной и побочной продукцией озимого тритикале на естественном фоне удобренности составлял от 69,4 кг/га, а на фоне $N_{30}$ – 79,7 кг/га.

Значительная роль в повышении почвенного плодородия принадлежит нитрифицирующим бактериям, отвечающим за азотный цикл почвы. Прокариоты, осуществляющие данный процесс, относятся к хемолитоавтрофам [24]. С.Н. Виноградским [5] установлено, что существуют две группы нитрифицирующих бактерий: одна осуществляет окисление аммиака до азотистой кислоты (первая фаза нитрификации), вторая – окисление азотистой кислоты до азотной (вторая фаза нитрификации). На первой фазе нитрификации действуют бактерии, главным образом р. *Nitrosomonas*, на второй – бактерии р. *Nitrobacter* [16]. Этапность процесса нитрификации – характерный пример метабиоза.

Данные изучения активности нитрифицирующих микроорганизмов свидетельствуют о значительном их варьировании в зависимости от характера использования угодий – от 0,38 до 0,59 тыс. КОЕ/г почвы (табл. 3). Общей закономерностью является повышенное их содержание на пахотных участках. Угодья с древесной растительностью и степным ценозом имели меньшие показатели и несколько уступали агрогенным почвам. Наибольшее различие установлено на склоновом участке ЛП № 133 и прилегающей части пахотного чернозема. В первом случае количество нитрификаторов отмечено на уровне 0,38 тыс. КОЕ/г почвы, во втором оно повышается до 0,54 тыс. КОЕ/г почвы (см. табл. 1). На плакорном участке ЛП № 133 эти показатели составляли 0,51 тыс. КОЕ/г почвы (лесная полоса) и 0,57 тыс. КОЕ/г почвы (пашня). Что касается залежных участков с естественной степной растительностью, то здесь выявлено стабильное снижение численности нитрификаторов по отношению к пахотным и лесным почвам. Таким образом, максимальная численность нитрифицирующих бактерий характерна для пахотных аналогов черноземных почв. По нашему мнению, активизация их деятельности обусловлена ежегодным перемешиванием пахотного слоя почвы и поступлением в нее легкоминерализуемых растительных остатков.

Еще одним важной составляющей почвенного плодородия, связанной с азотным циклом, является микробиологическая активность группы бактерий р. *Azotobacter*. Все виды азотобактера относятся к аэробным микроорганизмам и могут фиксировать молекулярный азот при отсутствии связанных форм азота. Данные диазотрофы в качестве источника азота могут ассимилировать соли аммония, нитриты, нитраты и аминокислоты [16]. Их численность, распространение и активность зависят от реакции среды, водно-воздушного режима, содержания фосфора и микроэлементов в почве [4].

В ходе микробиологической оценки установлено, что в исследуемых лесных полосах Каменной Степи активность бактерий р. *Azotobacter* незначительна. Так, в почвенных образцах со склона лесополосы № 133 данной группы прокариот обнаружено не было. Значения содержания азотобактера варьируют от 26 КОЕ/50 г почвы (ЛП № 40) до 53 КОЕ/50 г почвы (ЛП № 133, плакор) (табл. 3). Однако на залежи косимой (склон) и пахотных угодьях с возделываемыми сельскохозяйственными культурами активность бактерий резко возрастает. Максимальное количество колониеобразующих единиц азотобактера

зафиксировано на склоновом участке косимой залежи – 545 КОЕ/50 г почвы (табл. 3); в почвенных образцах, взятых с поля под озимой пшеницей рядом с ЛП № 40, – 493 КОЕ/50 г почвы, а с поля с яровым ячменем, граничащего с ЛП № 133 (плакор), – 315 КОЕ/50 г почвы. Таким образом, ежегодная обработка почвы имеет решающее значение и способствует увеличению активности колоний р. *Azotobacter*. Под древесными культурами и степной растительностью в большинстве случаев она значительно меньше.

Важную роль в разложении растительных остатков играют клетчатковые микроорганизмы. Целлюлозу расщепляют аэробные (бактерии и грибы) и анаэробные микроорганизмы (мезофильные и термофильные бактерии) [16]. При аэробном разложении клетчатки возможен синтез уроновых кислот, участвующих в образовании гумуса [1]. Высокая степень обогащенности почвы клетчатковыми микроорганизмами выявлена в почвенных образцах ЛП № 131, 40 и косимой залежи, примыкающей к ЛП № 40, – соответственно 89,84; 71,76 и 78,60 тыс. КОЕ/г почвы. Минимальное количество целлюлозолитиков отмечено в образцах почвы склоновой части ЛП № 133 – 38,4 тыс. КОЕ/г почвы, что на 57,3 % ниже чем в образцах ЛП № 131 (табл. 3).

Помимо процессов гумусообразования в почве постоянно протекают минерализационные процессы разрушения почвенного гумуса в результате действия аэробных микроорганизмов-минерализаторов. В них участвуют бактерии, грибы и актиномицеты [1]. Наибольшая их активность отмечена в почвенных образцах под ЛП № 131 – 20,58 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Остальные исследуемые объекты в порядке убывания численности этой группы микроорганизмов образовали следующий ряд: залежь косимая (склон) – залежь косимая (граничащая с ЛП № 40) – ЛП № 40 – поле, занятое озимой пшеницей и граничащее с ЛП № 133 (плакор), – ЛП № 133 (плакор) – ЛП № 133 (склон).

Из анализа данной агрономически ценной микрофлоры, участвующей в разложении азотных соединений почвы и растительных остатков (микроорганизмы, произрастающие на средах МПА и КАА), можно сделать вывод, что максимальное ее количество выявлено в образцах почвы ЛП № 131 – 33,8 млн КОЕ/г почвы (табл. 3). Достаточно высокое содержание отмечено для почвенных образцов ЛП № 133 (плакор, литеры *а*, *б*). Минимальным количеством характеризовались почвенные образцы с поля, занятого яровым ячменем и примыкающего к склоновой части ЛП № 133.

Для исследуемых почв рассчитаны коэффициенты минерализации, представляющие собой отношение численности групп микроорганизмов, развивающихся на завершающих стадиях минерализации, к численности групп микроорганизмов, разрушающих свежие органические остатки (табл. 4).

Таблица 4

**Коэффициенты минерализации в почвах исследуемых объектов**

| Вариант | Значение коэффициента минерализации |
|---|---|
| ЛП № 133, склон | 1,9 |
| ЛП № 133, склон, поле под яровым ячменем | 1,9 |
| ЛП № 133, плакор | 1,7 |

*Окончание табл. 4*

| Вариант | Значение коэффициента минерализации |
|---|---|
| ЛП № 133, поле под озимой пшеницей | 1,0 |
| ЛП № 40 | 1,3 |
| Залежь косимая, плато возле ЛП № 40 | 2,3 |
| ЛП № 40, поле под озимой пшеницей | 2,9 |
| Залежь косимая, склон | 1,7 |
| ЛП № 131 | 1,4 |

В виду того, что коэффициенты минерализации для всех исследуемых объектов выше единицы (за исключением поля под озимой пшеницей, граничащего с ЛП № 133), можно сделать вывод, что процессы минерализации почвенного органического вещества преобладают над разложением органических остатков. Данный показатель в варианте с полем под озимой пшеницей вблизи ЛП № 133 равен 1. Это свидетельствует о сбалансированности процессов минерализации почвенного органического вещества и разложения свежих растительных и животных остатков. Однако данные коэффициенты у ЛП № 40, 131 и 133 значительно ниже по сравнению с косимой залежью и полем (озимая пшеница вблизи ЛП № 40): соответственно 2,3 и 2,9, что свидетельствует о более существенном увеличении доли микроорганизмов, произрастающих на МПА, по сравнению с амилолитическими микроорганизмами, растущими на КАА.

## *Заключение*

Черноземы являются высокоплодородными достаточно устойчивыми высокобуферными почвами с большим содержанием органического вещества, наиболее благоприятной зернистой структурой с оптимальными физическими и химическими свойствами и с высокими показателями биологической активности, не поддающейся резкому изменению. Аналогичные результаты получены также рядом исследователей [11, 12].

Биологическая активность чернозема сегрегационного в условиях степной части России в большей степени определяется характером использования угодий. Максимальная численность микроорганизмов отмечается в почвах естественных степных угодий и лесных полос. Интенсивное сельскохозяйственное использование приводит к снижению активности почвенных микроорганизмов.

На черноземах с высокими показателями плодородия не установлено тесной взаимосвязи биологической активности с гумусовым состоянием и кислотностью почвы, что подтверждается данными корреляционного анализа. Коэффициент парной корреляции между содержанием гумуса и общей численностью микроорганизмов $r = 0,37 \pm 0,06$. Связь с кислотностью чернозема сегрегационного была незначительной – $r = 0,12$. Гумусовое состояние и реакция среды в большей мере влияли на отдельные компоненты структуры микробного ценоза. Средняя корреляционная зависимость установлена между численностью микромицетов и содержанием гумуса – $r = 0,48 \pm 0,05$ при критерии существенности $t_{факт} = 9,5 > t_{теор} = 2,37$. Между количеством цел-

люлозолитиков и гумусовым состоянием r = 0,51 ± 0,05 при критерии существенности $t_{факт} = 10,2 > t_{теор} = 2,37$. Данные группы структуры микробного ценоза принимают наиболее активное участие на начальных стадиях деструкции свежего органического вещества.

Максимальная биологическая активность характерна для почв под древесными насаждениями (ЛП № 131) с повышенным характером грунтового увлажнения. Повышенная увлажненность грунтового профиля способствует более активному развитию почвенной микрофлоры. На водораздельных участках древесная растительность оказывает положительное влияние на численность отдельных групп почвенной микробиоты за счет формирования мощной лесной подстилки.

Различный характер использования угодий заметным образом отражается на структуре микробного сообщества почвы. В почвах лесных ценозов отмечается наиболее высокое содержание микроорганизмов углеродного цикла, особенно аммонификаторов и амилолитических микроорганизмов, участвующих в трансформации свежих органических остатков, растительных экссудатов и ассимилирующих различные формы азота.

Эколого-структурные показатели микробных сообществ почв (видовой состав, численность и соотношение разных систематических групп) являются биоиндикаторами состояния лесных экосистем и позволяют оценить состояние и степень трансформации почвенно-растительного покрова. Исследования микробных ценозов почв в сочетании с другими компонентами экосистем предоставляют возможность выяснить их функциональные связи в системе «вид–среда» и особенности формирования. Эволюция естественных степных ценозов в высокоинтенсивные агролесомелиоративные ландшафты в течение XX–начале XXI в. явилась мощнейшим фактором изменения направленности почвообразовательных процессов. В связи с этим проведение систематических исследований по состоянию почвенной биоты, как одного из основных факторов почвообразования, имеет важное значение. Наряду с этим, изучение микробиологических сообществ в почве, ассоциированных с определенным биоценозом, может пролить свет на механизм взаимодействия микроорганизмов между собой и с абиотическими компонентами почвы. Искусственные лесные насаждения в степных регионах России являются мощным фактором активизации микробиологической активности, влияющим на изменения эволюционной направленности почвообразовательных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с. [Aristovskaya T.V. *Microbiology of the Processes of Soil Formation*. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 187 p.].

2. *Богородская А.В.* Микробиологическая оценка состояния антропогенно нарушенных лесных экосистем Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 2. С. 71–84. [Bogorodskaya A.V. Microbiological Assessment of Technogenically Disturbed Forest Ecosystems in Central Siberia. *Sibirskij Lesnoj Zurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2016, no. 2, pp. 71–84]. DOI: 10.15372/SJFS20160207

3. Большой практикум по микробиологии / Т.В. Аристовская и др.; под общ. ред. Г.Л. Селибера. М.: Высш. шк., 1962. 491 с. [Aristovskaya T.V. *Large Workshop on Microbiology*. Ed. by G.L. Selibera. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1962. 491 p].

4. *Василенко Е.С., Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Мартынов А.С.* Изменение численности микроорганизмов в зависимости от величины агрегатов гумусового горизонта миграционно-мицелярного чернозема // Бюл. Почв. ин-та. им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73. С. 85–97. [Vasilenko Ye.S., Kutovaya O.V., Tkhakakhova A.K., Martynov A.S. Changes in the Intensity of Soil-Biological Processes Caused by Different-Sized Aggregates of Migrationary-Mycelial Chernozems. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2014, no. 73, pp. 85–97]. DOI: 10.19047/0136-1694-2014-73-150-173

5. *Виноградский С.Н.* Микробиология почвы. Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с. [Vinogradskiy S.N. *Microbiology of Soil. Problems and Methods. Fifty Years of Studies*. Moscow, AN SSSR Publ., 1952. 792 p.].

6. *Дорохова М.Ф., Исаченкова Л.Б.* Биологическая активность дерново-подзолистых почв под разными типами леса // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 1999. № 1. С. 59–63. [Dorokhova M.F., Isachenkova L.B. Biological Activity of Sod-Podzolic Soils under Different Types of Forests. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedeniye* [Moscow University Soil Science Bulletin], 1999, no. 1, pp. 59–63].

7. *Демаков Ю.П., Нуреев Н.Б.* Биологическая активность почв лесных биогеоценозов Среднего Поволжья // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 4(40). С. 21–33. [Demakov Yu.P., Nureev N.B. Bioactivity of Soils of Forest Biogeocenoses in Middle Volga Region. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Bulletin of the Volga state technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2018, no. 4(40), pp. 21–33]. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.4.21

8. *Евграфова С.Ю.* Гетеротрофные микроорганизмы в почвах искусственных лесных биогеоценозов южнотаежной подзоны Красноярского края: дис. … канд. биол. наук. Красноярск, 2001. 127 с. [Evgrafova S.Yu. *Heterotrophic Microorganisms in the Soils of Artificial Forest Biogeocenoses of the Southern Taiga Subzone of the Krasnoyarsk Krai*: Cand. Biol. Sci. Diss. Krasnoyarsk, 2001. 127 p.].

9. *Колесниченко М.В.* Лесомелиорация с основами лесоводства: учеб. 2-е изд., переб. и доп. М.: Колос, 1981. 335 с. [Kolesnichenko M.V. *Forest Reclamation with the Basics of Forestry*. Moskow, Kolos Publ., 1981. 335 p.].

10. *Королёва И.Е., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Гумусное и азотное состояние целинных пахотных черноземов // Бюл. Почв ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 27–35. [Koroleva I.E., Lebedeva I.I., Grebennikov A.M. Humus and Nitrogen State Virgin and Cultivated Chernozems. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2013, no. 71, pp. 27–35].

11. *Кутовая О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П.* Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при разных способах обработки почвы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 35–61. [Kutovaya O.V., Grebennikov A.M., Tkhakahova A.K., Isaev V.A., Garmashov V.M., Bespalov V.A., Cheverdin Yu.I., Belobrov V.P. The Changes in Soil-Biological Processes and Structure of Microbial Community of Agrochernozems in Conditions of Different Ways of Soil Cultivation. *Byulleten Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2018, no. 92, pp. 35–61]. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-92-35-61

12. *Лебедева И.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г.* Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов Каменной Степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. С. 227–238. [Lebedeva I.I., Cheverdin Y.I., Titova T.V., Grebennikov M.A., Markina L.G. Structural State of Migrational-Mycelial (Typical) Agrochernozems of the Kamennaya Steppe on Plowed Fields of Different Ages. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 2, pp. 227–238. DOI: 10.7868/S0032180X17020095

13. *Мерзленко М.Д., Бабич Н.А.* Лесоводство. Искусственное лесовосстановление: учеб. для бакалавриата и магистратуры. М.: Юрайт, 2017. 244 с. [Merzlenko M.D., Babich N.A. *Forestry. Artificial Reforestation*: Textbook for Bachelor's and Master's Programs. Moscow, Yurayt Publ., 2017. 244 p.].

14. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с. [*Methods of Soil Microbiology and Biochemistry*. Ed. by D.G. Zvyagintsev. Moscow, MGU Publ., 1991. 304 p.].

15. *Минин А.А., Неронов В.М.* Климат и проблемы сохранения биоразнообразия в пределах Сахаро-Гобийской пустынной области. Сообщение 1. Тенденции современных климатических изменений // Проблемы освоения пустынь. 1996. № 3. С. 3–10. [Minin A.A., Neronov V.M. Climate and Biodiversity Conservation Problems within the Sahara-Gobi Desert Area. Report 1. Trends in Modern Climate Change. *Problemy osvoyeniya pustyn'* [Problems of Desert Development], 1996, no. 3, pp. 3–10].

16. *Мишустин Е.Н., Емцев В.Т.* Микробиология: учеб. М.: Агропромиздат, 1987. 368 с. [Mishustin E.N., Emtsev V.T. *Microbiology*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 368 p.].

17. *Никитина З.И.* Микробиологический мониторинг наземных экосистем. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 219 с. [Nikitina Z.I. *Microbiological Monitoring of Terrestrial Ecosystems*. Novosibirsk, Nauka. Siberian Branch Publ., 1991. 219 p.].

18. *Павловский Е.С.* Развитие защитного лесоразведения в Каменной Степи в советское время // Лесные полосы Каменной Степи: сб. ст. Воронеж: Центр.-Черноозем. кн. изд-во, 1967. С. 183–259. [Pavlovskiy E.S. Development of Protective Afforestation in the Kamennaya Steppe during the Soviet Period. *Forest Belts of the Kamennaya Steppe: Collection of Academic Papers*. Voronezh, Tsentral'no-Chernozemnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1967. pp. 183–259].

19. *Петров П.Г., Скачков Б.И.* «Особая экспедиция» В.В. Докучаева и развитие агролесомелиоративных исследований в Каменной Степи // Агролесомелиоративные исследования в Каменной Степи: науч. тр. Каменная Степь: Изд-во НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева. 1981. С. 4–10. [Petrov P.G., Skachkov B.I. "Special Expedition" by V.V. *Dokuchaev and Development of Agroforestry Research in the Kamennaya Steppe. Agroforestry Studies in the Kamennaya Steppe: Academic Papers*. Kamennaya Steppe, NIISKh TsChP im. V.V. Dokuchayeva Publ., 1981, pp. 4–10].

20. *Постовалов А.А., Немирова Н.А.* Микробиологическая активность чернозема, выщелоченного при внесении минеральных удобрений // Вестн. Курган. гос. ун-та. Сер.: Естеств. науки. Вып. 2. 2009. № 1(15). С. 29–30. [Postovalov A.A., Nemirova N.A. Microbiological Activity of Chernozem Leached on Application of Mineral Fertilizers. *Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki, vypusk 2*, 2009, no. 1(15), pp. 29–30].

21. *Редько Г.И., Трещевский И.В.* Рукотворные леса. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с. [Red'ko G.I., Treshchevskyi I.V. *Artificial Forests*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 240 p.].

22. *Сауткина М.Ю.* Влияние ассоциативных биопрепаратов на плодородие чернозема обыкновенного и урожайность озимого тритикале в условиях юго-востока ЦЧЗ: дис. … канд. с.-х. наук. Каменная Степь, 2016. 202 с. [Sautkina M.Yu. *The Effect of Associative Biopreparations on the Fertility of Ordinary Chernozem and Productivity of Winter Triticale in the Southeast of Central Black Soil Nature Reserve*: Cand. Agric. Sci. Diss. Kamennaya Steppe, 2016. 202 p.].

23. *Сауткина М.Ю., Кузнецова Н.Ф., Тунякин В.Д.* Современное состояние полезащитных лесных полос с преобладанием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Каменной Степи // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2018. № 1. С. 78–89. [Sautkina M., Kuznetsova N., Tunjakin V. Current State of Forest Shelter Belts with Predominance of Oak (*Quercus robur* L.) in the Stone Steppe. *Lesokhozyaystvennaya*

*informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 1, pp. 78–89]. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.07

24. *Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* Практикум по микробиологии: учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2004. 256 с. [Tepper E.Z., Shil'nikova V.K., Pereverzeva G.I. *Workshop on Microbiology*: Textbook for Universities. Moscow, Drofa Publ., 2004. 256 p.].

25. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: науч.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2012. 64 с. [Titova V.I., Kozlov A.V. *Methods for Assessing the Functioning of the Soil Microbiocenosis Involved in the Transformation of Organic Matter*: Scientific and Methodological Manual. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2012. 64 p.].

26. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Изменение почвенного покрова Каменной Степи: от В.В. Докучаева до наших дней // Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России: сб. науч. докл. Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию организации «Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России», Каменная Степь, 27-28 июня 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 88–96. [Khitrov N.B., Cheverdin Yu.I. Changing the Soil Cover of the Kamennaya Steppe: From Dokuchaev to the Present Day. *Dokuchaev Heritage and Development of Scientific Agriculture in Russia: Collection of Scientific Reports of the All-Russian Scientific and Practical Confersnce Dedicated to 125th Anniversary from the Arrangement of the "Special Expedition of the Forest Department for Testing and Recording of Various Methods and Techniques of Forestry and Water Management in the Steppes of Southern Russia", Kamennaya Steppe, June 27–28, 2017*. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 88–96].

27. *Царева Р.П.* К вопросу о защитном лесоразведении в РФ // Современная лесная наука: проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 20–22 дек. 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 224–229. [Tsareva R.P. On the Issue of Protective Afforestation in Russia. *Modern Forest Science: Issues and Prospects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 20–22, 2017*. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 224–229].

28. *Чевердин Ю.И., Саутkина М.Ю., Вавин В.С.* Агроэкологические особенности состояния почвенного покрова в лесокультурном ландшафте «Каменная Степь» // Современная лесная наука: проблемы и перспективы: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Воронеж, 20–22 дек. 2017 г. Воронеж: Истоки, 2017. С. 230–235. [Cheverdin Yu.I., Sautkina M.Yu., Vavin V.S. Agroecological Features of the Soil Cover State in the Silvicultural Landscape "Kamennaya Steppe". *Modern Forest Science: Issues and Prospects. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 20–22, 2017*. Voronezh, Istoki Publ., 2017, pp. 230–235].

29. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A Physiological Method for Quantitative Measurement of Microbial Biomass in Soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, vol. 10, iss. 3, pp. 215–221. DOI: 10.1016/0038-0717(78)90099-8

30. Anderson T.-H., Domsch K.H. Soil Microbial Biomass: The Eco-Physiological Approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, iss. 12, pp. 2039–2043. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.06.026

31. Bastida F., Zsolnay A., Hernándeza T., Garcíaa C. Past, Present and Future of Soil Quality Indices: A Biological Perspective. *Geoderma*, 2008, vol. 147, iss. 3-4, pp. 159–171. DOI: 10.1016/j.geoderma.2008.08.007

32. Conrad R. Soil Microorganisms as Controllers of Atmospheric Trace Gases ($H_2$, $CO_2$, $CH_4$, OCS, $N_2O$, and NO). *Microbiological Reviews*, 1996, vol. 60, no. 4, pp. 609–640.

33. West T.O., Post W.M. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analyses. *Soil Science Society of America Journal*, 2002, vol. 66, iss. 6, pp. 1930–1946. DOI: 10.2136/sssaj2002.1930

34. Winding A., Hund-Rinke K., Rutgers M. The Use of Microorganisms in Ecological Soil Classification and Assessment Concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, vol. 62, iss. 2, pp. 230–248. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.03.026

35. Witkamp M. Direct and Indirect Counts of Fungi and Bacteria as Indexes of Microbial Mass and Productivity. *Soil Science*, 1974, vol. 118, iss. 3, pp. 150–155.

36. Yan T., Yang L., Campell C.D. Microbial Biomass and Metabolic Quotient of Soils under Different Land Use in Three Gorges Reservoir Area. *Geoderma*, 2003, vol. 115, iss. 1–2, pp. 129–138. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00082-X

## MICROBIOLOGICAL ANALYSIS OF THE SOIL COVER OF THE KAMENNAYA STEPPE AGROFORESTRY LANDSCAPES

***M.Yu. Sautkina*[1]**, *Candidate of Agriculture; ORCID: 0000-0001-9244-1177*
***Yu.I. Cheverdin*[2,3]**, *Doctor of Biology; ORCID: 0000-0002-9905-0547*
[1]All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: sautmar@mail.ru
[2]V.V. Dokuchaev Scientific Research Institute of Agriculture of the Central-Chernozem zone, pos. 2 uchastka Instituta im. V.V. Dokuchaeva, kv. 5, 81, Talovskiy district, Voronezh region, 397463, Russian Federation; e-mail: cheverdin62@mail.ru
[3]Kamennaya Steppe Experimental Forest District, pos. 2 uchastka Instituta im. V.V. Dokuchayeva, kv. 3, 64a, Talovskiy district, Voronezh region, 397463, Russian Federation; e-mail: cheverdin62@mail.ru

The microbial biomass content is the most informative indicator for early detection of soil condition. Soil microorganisms support the homeostasis of forest ecosystems due to the unique ability of rapid adaptation to changing environmental conditions. The article presents the results of soil microbiological assessment carried out within the framework of comprehensive monitoring studies of the forest ecosystems of the Kamennaya Steppe. The following objects of the agroforestry permanent study area served as options: a mowing fallow of 1882; forest belt no. 40 of 1903 laying out, located on the watershed area; forest belt no. 133 of 1950 planting; and forest belt no. 131 of 1959 planting. Additionally, arable lands adjacent to forest belts no. 40 and 133 (watershed, slope) were included in the research scheme. The research purpose was to determine the biological activity of soils of the Kamennaya Steppe, as well as the direction and intensity of soil and biological processes in agroforestry arrangement of the territory. The total number and structure of ecological and trophic groups of the microbial community were determined by the method of E.Z. Tepper by seeding on solid nutrient media. It is shown that the soil cover under the tree plantation is defined by a higher content of ammonifiers and actinomycetes. Intensive agricultural land use significantly reduces the intensity of microbiological processes. The undertaken studies allow stating that the optimum conditions for the development of micromycetes are formed in soils under woody and native steppe vegetation. The involvement of chernozems in active agricultural production leads to a decrease in the number of fungal flora. A high concentration of nitrifiers was revealed in arable lands. The lands with woody vegetation and steppe cenoses had lower indices and were somewhat inferior to agrogenic soils. Annual soil cultivation is crucial and drives up the activity of bacterial colonies (genus *Azotobacter*) on arable lands. The activity is much lower under the tree crops and steppe vegetation in most cases. Mineralization coefficients are calculated for the studied soils. Due to the fact that these coefficients in all the studied objects

are above one (except the field under winter wheat and bordering the forest belt no. 133), it follows that the mineralization processes of soil organic matter prevail over the decomposition of organic residues.

***For citation:*** Sautkina M.Yu., Cheverdin Yu.I. Microbiological Analysis of the Soil Cover of the Kamennaya Steppe Agroforestry Landscapes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 62–78. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.62

***Funding:*** The research was carried out within the framework of the state assignment of the All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology.

*Keywords*: forest belts, agroforestry complex, microbial pool, soil biological activity.

Поступила 05.12.18 / Received on December 05, 2018

УДК 630*435
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.79

# ПОЖАРЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ ЛЕСОВ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

***И.В. Волчатова, канд. биол. наук, доц.;*** *ResearcherID: AAB-8113-2019, ORCID: 0000-0003-0515-8811*
Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова, д. 83, г. Иркутск, Россия, 664074; e-mail: belyana64@inbox.ru

Особо охраняемые природные территории федерального значения занимают в Иркутской области 1844,858 тыс. га, или 2,38 % ее площади, и представлены пятью объектами, два из которых находятся в центральной экологической зоне Байкальской природной территории (Байкало-Ленский заповедник и Прибайкальский национальный парк). Одной из серьезнейших проблем этих территорий являются пожары. В статье приведена краткая лесопожарная характеристика Иркутской области; на основе статистических данных ФГБУ «Заповедное Прибайкалье» сделан анализ горимости растительности Байкало-Ленского заповедника и Прибайкальского национального парка в 2007–2018 гг. В исследуемые годы возникновение пожаров происходило в период с 28 марта по 31 октября. Максимальное число возгораний, переросших в пожары, в Прибайкальском национальном парке наблюдалось в апреле–июне, в Байкало-Ленском заповеднике сроки начала лесных пожаров сдвинуты к лету. Максимальная площадь, пройденная пожарами, пришлась на 2015 г. Больше половины всех пожаров, зарегистрированных в последние годы в национальном парке (57 %), приходится на лесничества Иркутского района, 13 % – на лесничества Слюдянского района, 30 % – на лесничества Ольхонского района Иркутской области. Прослеживается зависимость опасности возникновения пожаров от рекреационной нагрузки территории. Большинство из них пришлось на лесные экосистемы, что привело к значительному снижению потенциала экосистемных услуг леса. Для Прибайкальского национального парка годовой ущерб в среднем составил 136,26 млн р., для Байкало-Ленского заповедника – 1081,71 млн р. Этот показатель учитывает стоимость потери древесины, ущерб от снижения средообразующих функций леса и загрязнения окружающей природной среды продуктами горения; характеризует уменьшение объемов регулирующих, поддерживающих и культурных услуг леса. Проведен анализ источников пожаров растительности и их последствий методом «галстук–бабочка». Предложены барьеры безопасности, уменьшающие вероятность возникновения пожаров и масштабы их последствий. Наиболее действенными барьерами могут стать внедрение автономных систем мониторинга лесных пожаров, повышение экологической просвещенности и культуры туристов.
***Для цитирования:*** Волчатова И.В. Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 79–91. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.79

*Ключевые слова*: особо охраняемые природные территории, лес, пожары растительности, горимость, потери древесины, ущерб.

## *Введение*

Роль лесов на планете трудно переоценить. Фотосинтезирующие растения в процессе жизнедеятельности аккумулируют в своей биомассе солнечную

энергию, которая передается потом по пищевым цепям гетеротрофам, а выделяющийся при этом кислород обеспечивает последним условия для газообмена с окружающей средой. Леса являются для нас источником возобновляемых и относительно возобновляемых природных ресурсов, осуществляют водорегулирующие, противоэрозионные и другие экологические функции. Немаловажно также рекреационное, эстетическое значение лесов – это так называемая нематериальная, или, согласно международной практике лесоуправления, «невесомая», их полезность. Сюда относится возможность любоваться красивыми пейзажами, слушать пение птиц, дышать свежим лесным воздухом и т. д.

Сейчас принято говорить об экосистемных услугах леса [3, 16, 22]. Согласно классификации ООН, все экосистемные услуги разделены на четыре вида, каждый из которых можно применить к лесным экосистемам:

обеспечивающие услуги (древесина, продукты питания и др.);

регулирующие услуги (удаление углерода из атмосферы, гидрологический режим водотоков, контроль болезней);

культурные услуги (рекреация);

поддерживающие услуги (круговорот биогенных элементов, формирование почвенного слоя).

В настоящее время 60 % всех обследованных экосистемных услуг деградируют. Особенно важными являются проблемы, связанные с биогенными нагрузками, климатическими изменениями и потерей местообитаний.

Одна из серьезнейших проблем лесоуправления в Сибири – экстремальность в пирологическом отношении [5, 13]. В частности, в Иркутской области 77 % лесного фонда министерства лесного комплекса отнесено к трем первым классам природной пожарной опасности [7, 9]. Низовые пожары (классы I, II) на протяжении всего пожароопасного сезона возможны на трети лесистой территории. Лишь на 3 % лесного фонда пожарная опасность отсутствует (класс V). Среднее значение пожарной опасности лесов в области – 2,7 [9]. Усугубляют ситуацию климатические и световые условия региона – резко континентальный климат с жарким и засушливым летним периодом, солнечное сияние – свыше 2 тыс. ч в год. Пожары существенно уменьшают потенциал экосистемных услуг леса. Они уничтожают массивы эксплуатационных лесов и запас ликвидной древесины, приводят к нарушению водного режима, круговорота веществ, в частности цикла углерода [18], снижают рекреационную привлекательность леса. Высокая степень природной пожарной опасности особенно критично сказывается на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) [17, 19]. Уменьшается видовое разнообразие лесов, ухудшаются условия для сохранения редких видов за счет гибели старовозрастных насаждений [4, 15].

ООПТ занимают свыше 11 % площади России. В число ООПТ федерального значения входят 105 заповедников и 55 национальных парков, и их количество постоянно растет. В Иркутской области к территориям такого ранга относятся Витимский и Байкало-Ленский заповедники, Прибайкальский национальный парк (ПНП), созданные в 80-х гг. прошлого столетия. В 2014 г. два последних административно объединены в Федеральное государственное бюджетное учреждение (ФГБУ) «Заповедное Прибайкалье». В настоящее время его территория вместе с вошедшими в состав двумя государственными природными заказниками («Тофаларский» и «Красный Яр») составляет 1,3 млн га (рис. 1).

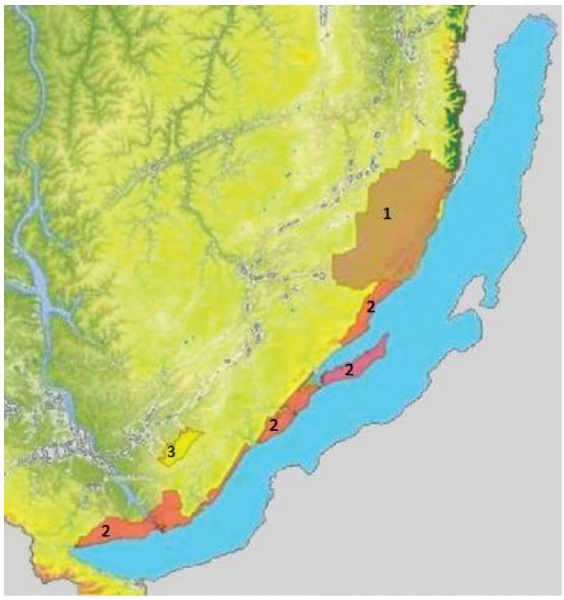



Рис. 1. Территории, подведомственные ФГБУ «Заповедное Прибайкалье», в границах Байкальской природной территории: 1 – Байкало-Ленский заповедник; 2 – Прибайкальский национальный парк; 3 – государственный природный заказник «Красный Яр»

Fig. 1. The territories subordinated by the Federal State Budgetary Institution “Western Baikal Protected Areas” within the borders of the Baikal natural area: 1 – Baikal-Lena Nature Reserve; 2 – Pribaikalsky National Park; 3 – State Natural Reserve “Krasnyy Yar”

Цель данной работы – анализ масштабов снижения экологических функций и экосистемных услуг лесов на ООПТ Иркутской области в связи с пожарами.

*Объекты и методы исследования*

Объекты исследования – Прибайкальский национальный парк (ПНП) и Байкало-Ленский заповедник (БЛЗ) площадью 417,3 и 659,5 тыс. га соответственно. Основными ландшафтами являются гольцовые и подгольцовые южносибирские, горнотаежные и подтаежные южносибирские, степные центральноазиатские и пойменные геосистемы.

БЛЗ занимает южную треть Байкальского хребта, благодаря которому создается широкий спектр ландшафтов. Таежные леса характерны для основной части территории. Заповедник разделен на три лесничества: Верхне-Ленское, Киренгское и «Берег бурых медведей».

Территория ПНП простирается узкой полосой по западному побережью оз. Байкал, охватывая весь о. Ольхон, и состоит из 10 лесничеств. Свыше 70 % ПНП занято лесами. Хвойные породы, преобладающие в лесных

массивах, в основном представлены соснами; часто встречаются лиственница и кедр.

Сведения о пожарах за 2007–2018 гг. предоставлены ФГБУ «Заповедное Прибайкалье». Расчет ущерба окружающей природной среде (ОС) осуществлен по приказу Рослесхоза [6] с учетом постановления Правительства РФ [10].

*Результаты исследования и их обсуждение*

Приведенные в табл. 1 сведения о пожарах на территории ФГБУ «Заповедное Прибайкалье» свидетельствуют, что площадь пожаров, приходящихся на леса, существенно превышает площадь нелесных пожаров и составляет от 69,3 до 100 %. Исключением был 2011 г., когда выгорело 178 га площади степных ландшафтов на о. Ольхон.

Таблица 1

**Горимость растительности ООПТ Иркутской области в 2007–2018 гг.**

| Год | Общее количество пожаров, шт. | Площадь пожаров, га | | |
|---|---|---|---|---|
| | | общая | лесных | нелесных |
| *Прибайкальский национальный парк* | | | | |
| 2007 | 28 | 3 946,0 | 3 706,9 | 239,1 |
| 2008 | 14 | 301,2 | 297,0 | 4,2 |
| 2009 | 21 | 1 212,5 | 1 207,5 | 5,0 |
| 2010 | 29 | 2 044,3 | 2 036,2 | 8,1 |
| 2011 | 14 | 448,5 | 233,5 | 215,0 |
| 2012 | 1 | 6,0 | 6,0 | – |
| 2013 | 9 | 150,7 | 150,7 | – |
| 2014 | 37 | 1 689,8 | 1 604,7 | 85,1 |
| 2015 | 38 | 34 423,8 | 30 447,2 | 3 976,6 |
| 2016 | 9 | 1 50,4 | 140,4 | 10,0 |
| 2017 | 7 | 610,1 | 575,5 | 34,6 |
| 2018 | 7 | 21,7 | 20,2 | 1,5 |
| *Байкало-Ленский заповедник* | | | | |
| 2014 | 4 | 25,1 | 25,1 | – |
| 2015 | 14 | 92 080,0 | 84 932,1 | 7147,9 |
| 2016 | 15 | 6 397,9 | 6 347,9 | 50,0 |
| 2017 | 16 | 13 408,6 | 12 983,6 | 425,0 |
| 2018 | 0 | – | – | – |

Возникающие пожары являются преимущественно низовыми разной степени интенсивности. При сильной интенсивности низовых пожаров выгорает напочвенный покров, лесная подстилка, гумус, поврежденные насаждения заселяются вторичными вредителями.

Вклад отдельных факторов в образование очагов пожаров различен для рассматриваемых ООПТ. В ПНП на первом месте стоит антропогенный фактор – нарушение правил пожарной безопасности, неосторожное обращение граждан с огнем в лесу в пожароопасный сезон. Эта причина является основной из установленных для всех лесов, расположенных на землях лесного фонда Иркутской области (54...68 % в зависимости от года). Реже пожары на ООПТ

начинаются в связи с их переходом с земель иных категорий и из-за природных явлений (гроз). В БЛЗ причины многих пожаров остаются неизвестными. Так, в 2016 г. не были установлены причины 9 из 15 пожаров (60 %). Дальнейшее распределение пожаров по причинам возникновения аналогично наблюдаемому в ПНП.

В 2007–2018 гг. в целом возникновение пожаров в ПНП происходило в период с 28 марта по 31 октября. В отдельные годы распределение числа пожаров по месяцам было неоднородным, но в сумме максимум их был в апреле–июне, когда на эти месяцы пришлось около 65 % всех очагов возгораний (рис. 2). Максимально продолжительным был пожароопасный сезон 2014 г., продлившийся более полугода, хотя его напряженность была ниже средних показателей за 5 лет.

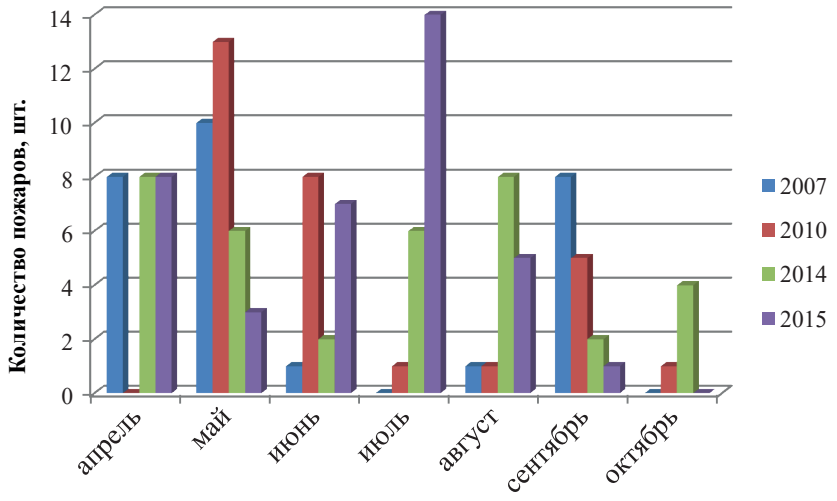



Рис. 2. Распределение количества пожаров в лесничествах Прибайкальского национального парка по пожароопасному сезону

Fig. 2. Distribution of the number of fires in the forest districts of the Pribaikalsky National Park by fire season

В БЛЗ сроки начала лесных пожаров сдвинуты к лету (с начала июня).

Общее число пожаров сильно варьировало по годам (табл. 1), в частности в ПНП – от 1 в июне 2012 г. до 38 в 2015 г. При этом связи между размерами выгоревшей площади и количеством возникших пожаров не наблюдалось. Так, в 2014 г. огнем была охвачена территория в 20 раз меньше по сравнению с последующим годом при том же числе пожаров, что можно объяснить климатическими параметрами этого года в Иркутской области. Летний период года, несмотря на преимущественно сухую погоду, характеризовался выпадением в отдельные дни ливневых осадков, достигавших местами критериев опасного явления. Весна была в два раза длиннее, чем обычно (60...80 дн.), с периодами похолодания и понижением температуры ночью до отрицательных значений даже в мае [8]. Все это существенно уменьшало возможность распространения пожаров. Аномально благоприятная ситуация с пожарами в 2012 г. также могла сложиться благодаря низкому уровню класса пожарной опасности по погодным условиям – на большей части Иркутской области в июле–августе количество осадков в 1,5–2 раза превысило средние многолетние значения.

Максимальная площадь, пройденная пожарами, пришлась на 2015 г., когда выгорели десятая часть лесистой территории ПНП и 15 % БЛЗ. Причиной практически всех пожаров в заповеднике в этот год были грозовые разряды. Катастрофическому распространению огня предшествовала чрезвычайная засуха. Тушение нескольких пожаров из-за недостатка финансовых средств, техники и людей продолжалось в течение 1 мес., а площадь возгорания увеличилась в сотни и тысячи раз с момента обнаружения. Наиболее пострадали леса БЛЗ и прилегающего к нему Онгуренского лесничества ПНП в связи с их удаленностью и труднодоступностью (территория заповедника относится к районам применения авиационных сил и средств пожаротушения, которых в регионе недостаточно). В целом горимость лесов для заповедника по пройденной огнем площади существенно выше таковой для национального парка и соответствует чрезвычайной степени относительной горимости по шкале проектного института «Росгипролес» [14].

Больше половины всех пожаров, зарегистрированных в ПНП (57 %) в последние годы, приходится на лесничества Иркутского района (Листвянское, Прибайкальское, Большереченское), 30 % – на лесничества Ольхонского района (Онгуренское, Береговое, Островное, Еланцинское), 13 % – на лесничества Слюдянского района (Половинское, Маритуйское, Байкальское) (рис. 3). По числу пожаров выделяется Островное лесничество, расположенное в пределах излюбленного места отдыха туристов – о. Ольхон.

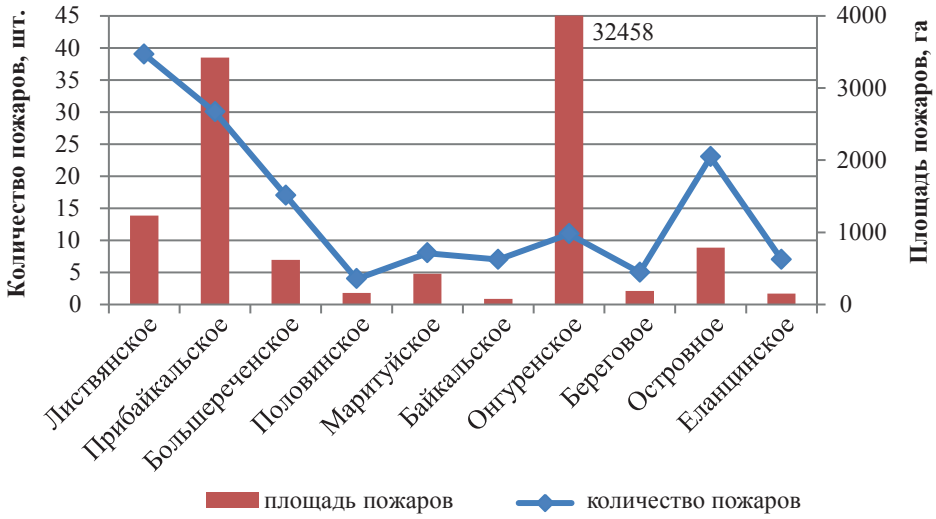



Рис. 3. Горимость растительности в лесничествах Прибайкальского национального парка в 2010–2018 гг.

Fig. 3. Fire frequency of vegetation in the forest districts of the Pribaikalsky National Park in 2010–2018

Климат на ООПТ Иркутской области в значительной степени определяется особенностями ландшафта и влиянием оз. Байкал. Южная часть ПНП с низкогорным рельефом (Слюдянский район) характеризуется режимом влажного лета. За период с апреля по сентябрь количество осадков здесь достигает 600 мм, среднемноголетнее число дней с осадками – 70. К северу от Ангары территория ПНП (Иркутский и Ольхонский районы) лежит в дождевой тени,

связанной с положением Приморского хребта. Число дней с осадками с апреля по сентябрь здесь не превышает 60, а количество осадков вдвое меньше. Температурный режим рассматриваемых территорий в связи с близостью Байкала примерно одинаков. Несмотря на то, что горимость растительности в лесничествах Слюдянского района существенно меньше и по числу пожаров, и по пройденной огнем площади, однозначно связать пожарный риск с климатическими условиями в данном случае нельзя.

В целом риск возникновения пожаров находится в прямой зависимости от рекреационной нагрузки территории в связи с увеличением источников огня – максимальное число пожаров зарегистрировано в лесничествах с наиболее привлекательными для туристов местами. Максимальная частота пожаров в наиболее посещаемых местах зафиксирована и на других ООПТ [2]. Дополнительным фактором уязвимости лесов ООПТ является преобладание сосняков, слабоустойчивых к пирогенному фактору из-за сухих местообитаний с легко возгораемым напочвенным покровом и высокой горимости доминирующего вида в биоценозе. Размер выгоревшей площади зависит в первую очередь от оперативности получения информации о пожаре и доступности территории для тушения.

Леса ООПТ предоставляют практически все виды экосистемных услуг. Масштабы снижения экосистемных услуг лесов можно выразить через величину различного рода ущербов, связанных с пожарами. Стоимость потери древесины на корню, которая зависит от вида и интенсивности пожара, доминирующей породы в массиве и ее диаметра, для ПНП варьировала от 112,5 тыс. до 137,8 млн р., для БЛЗ – от 28,5 тыс. до 487,7 млн р. в год (в среднем – 26,96 и 178,56 млн р. соответственно). Максимальный ущерб ожидаемо отмечался в 2015 г. Так как лесные массивы ООПТ относятся к лесам, имеющим природоохранное значение, и объектами лесозаготовок не являются, то эта величина будет характеризовать уменьшение объемов регулирующих, поддерживающих и культурных услуг, причем не только на расчетный год, но и на ряд последующих лет. Естественное восстановление лесных экосистем после пожаров занимает до 100 лет, и не всегда экологическая сукцессия приводит к исходному биоценозу [20, 21].

Ущерб, причиненный ОС пожаром растительности, определяется ущербом [6] от снижения средообразующих функций леса, загрязнения ОС продуктами горения, гибели представителей фито- и зооценозов. Это будет увеличивать объем недополученных регулирующих и поддерживающих услуг лесов.

Первая величина рассчитывается путем умножения размера ущерба от потерь древесины на коэффициент экологической значимости лесов: для заповедников – 5, национальных парков – 4. Для средних значений в нашем случае – 107,84 млн р. в год для ПНП и 892,8 млн р. в год для БЛЗ.

Вторая величина согласно [6] устанавливается по четырем видам загрязняющих веществ, образующихся при лесном пожаре: оксиду углерода, оксиду азота, взвешенным частицам, углеводородам. Ущерб по каждому из них рассчитывается перемножением их массы, норматива платы за выброс и, в нашем случае, дополнительного коэффициента 2, применяемого для территорий, находящихся под особой охраной [10].

Среднегодовые потери древесины, соответствующие представленной выше стоимости потерь в денежном эквиваленте, составили 327,54 и 2359,26 тыс. м$^3$

для ПНП и БЛЗ соответственно. Учитывая, что основная порода в рассматриваемых лесах – сосна, примем соответствие веса в килограммах одному кубометру древесины: 1 $м^3$ = 850 кг. Тогда ежегодные потери древесины в среднем составят 278,41 и 2 005,37 тыс. т. Расчет среднегодового ущерба от загрязнения ОС можно представить в виде табл. 2.

Таблица 2

**Ущерб от загрязнения окружающей природной среды основными продуктами горения древесины**

| Вещество | Удельный выброс, кг/т биомассы | Масса выброса, т | Норматив платы, р./т | Ущерб, р. |
|---|---|---|---|---|
| *Прибайкальский национальный парк* | | | | |
| Оксид азота | 2 | 556,82 | 93,5 | 104 125,34 |
| Оксид углерода | 125 | 34 801,39 | 1,6 | 111 364,46 |
| Углеводороды | 12 | 3 340,93 | 108,0 | 721 640,88 |
| Взвешенные частицы | 22 | 6 125,04 | 36,6 | 448 352,92 |
| | | | *Итого* | 1 385 483,98 |
| *Байкало-Ленский заповедник* | | | | |
| Оксид азота | 2 | 4 010,74 | 93,5 | 750 008,44 |
| Оксид углерода | 125 | 250 671,27 | 1,6 | 802 148,06 |
| Углеводороды | 12 | 24 064,44 | 108,0 | 5 197 919,43 |
| Взвешенные частицы | 22 | 44 118,14 | 36,6 | 3 229 448,09 |
| | | | *Итого* | 9 979 524,02 |

В то же время при пожаре растительности сгорает не только древесина, но и так называемые растительные горючие материалы (РГМ) – кустарники, сухая трава, валежник, листовой и хвойный опад и т. д. Определено, что масса РГМ для лесных территорий нашего региона в среднем 2,5 т/га [12], коэффициент недожога для РГМ – 0,9 [11]. Тогда масса сгоревших РГМ в год составит в среднем 14 590,3 т для ПНП и 73 877,3 т для БЛЗ. С учетом тех же удельных выбросов вредных веществ при сгорании лесной биомассы ущерб от них для ПНП и БЛЗ будет соответственно 72,6 и 367,6 тыс. р. в год.

Таким образом, выделяющиеся при лесных пожарах продукты горения приводят к дополнительному среднегодовому ущербу 1,46 и 10,35 млн р. для ПНП и БЛЗ соответственно. Без учета гибели животных, суммарный ущерб от пожаров, напрямую уменьшающих возможности предоставления экосистемных услуг леса, составляет для ПНП и БЛЗ соответственно 136,26 и 1081,71 млн р. в год.

Последствия пожаров не ограничиваются материальным ущербом. С учетом других видов негативного воздействия на природные экосистемы пожары можно с уверенностью включить в перечень возможных причин сокращения биологического разнообразия.

На рис. 4 графически проанализированы источники опасных событий (пожаров растительности) и их последствий: методом «галстук–бабочка» [1].

Барьерами безопасности, предотвращающими или уменьшающими вероятность возникновения пожаров (на схеме слева), являются:

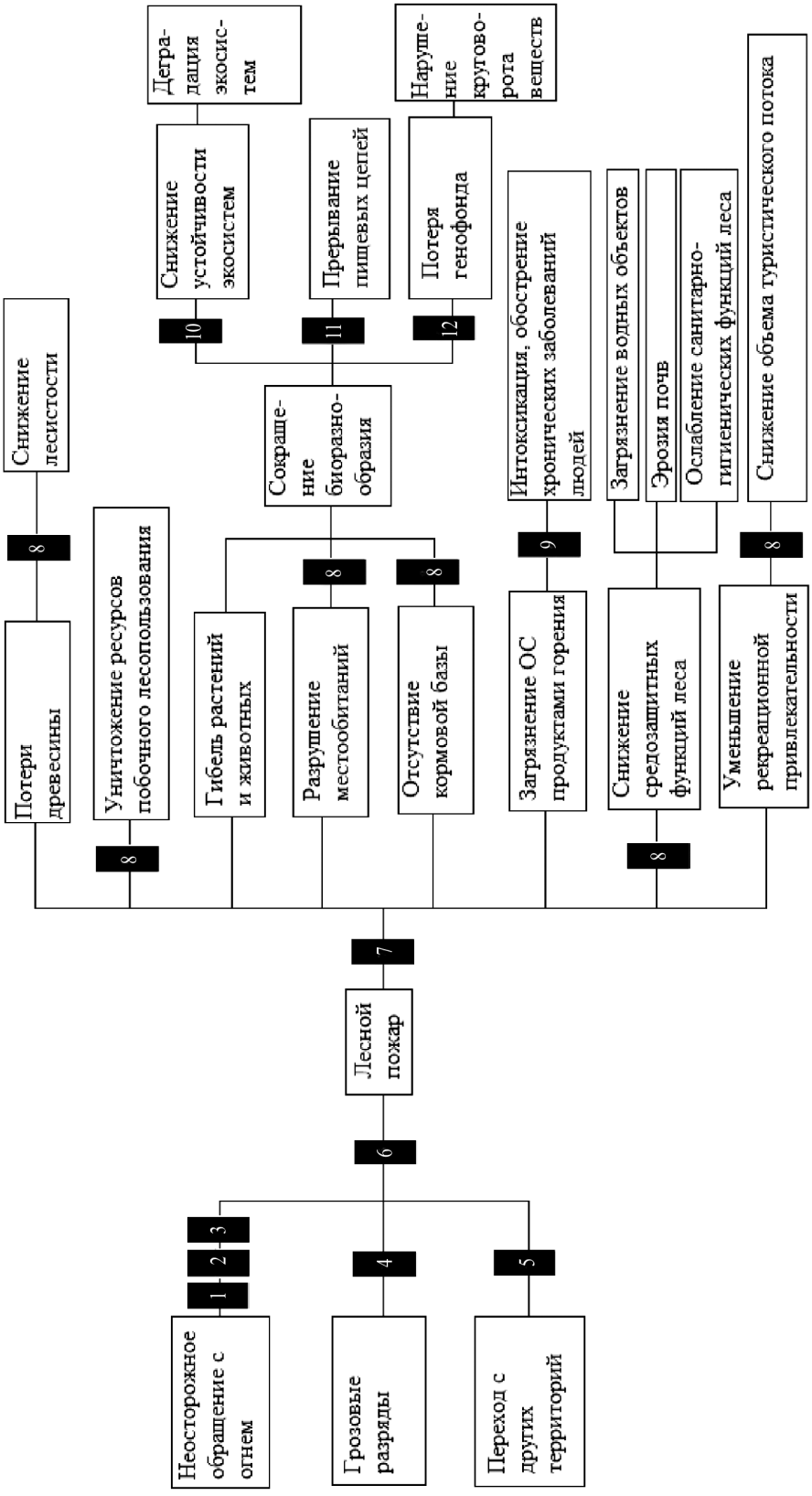



Рис. 4. Идентификация причин и последствий пожаров растительности
Fig. 4. Identification of causes and effects of vegetation fires

1 – профилактическая работа с отдыхающими и населением, повышение общей экологической культуры;

2 – ограничение посещений лесов рекреантами в пожароопасный период;

3 – организация дополнительных к имеющимся специально оборудованных мест для туристической деятельности (пикниковых стоянок);

4 – внедрение автономных систем мониторинга пожаров растительности;

5 – контроль над сельскохозяйственными палами;

6 – противопожарная профилактика в лесах (санитарные рубки, очистка от валежника, создание барьеров и др.).

К методам управления в условиях пожара и после него (на схеме справа) можно отнести:

7 – повышение эффективности пожаротушения на ранней стадии пожара;

8 – лесовосстановление;

9 – ограничение пребывания людей на открытой местности, использование средств защиты;

10 – поддержание максимально возможного многообразия биогеоценозов путем создания оптимального ландшафта;

11 – возобновление популяций исчезающих животных;

12 – восстановление кормовой базы для того или иного вида животных.

## *Заключение*

Практически ежегодно пожары растительности, преобладающие на ООПТ Иркутской области, приводят к существенному снижению объемов экосистемных услуг лесов. В год для Прибайкальского национального парка общий ущерб в среднем составляет 136,26, для Байкало-Ленского заповедника – 1081,71 млн р. Барьерами безопасности, наиболее действенными в отношении пожаров растительности, являются внедрение автономных систем мониторинга, повышение экологической просвещенности и культуры рекреантов, а также обустройство дополнительного количества пикниковых стоянок, регулирующих поток «диких» туристов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. ГОСТ Р 51901.23–2012. Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска: утв. 29.11.2012 г., введ. 2013-12-01. М.: Стандартинформ, 2014. [*GOST R 51901.23–2012. Risk Management. Risk Register. Guide on Assessment of Hazards Risk for Inclusion in Risk Register: Approved on November 29, 2012*. Moscow, Standartinform Publ., 2014].

2. *Дубинин А.Е., Залесов С.В*. Горимость сосновых лесов Ильменского заповедника и послепожарные последствия в них // Вестн. Башкир. гос. аграр. ун-та. 2016. № 3. С. 101–106. [Dubinin A., Zalesov S. Fire Occurrence in Ilmensk Forest Reserve Pinery and After-Fire Effects in Them. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 2016, no. 3, pp. 101–106].

3. *Логинов А.А., Лыков И.Н., Васильева М.А.* Укрупненная оценка стоимости экосистемных услуг леса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 120–124. [Loginov A.A., Lykov I.N., Vasilyeva M.A. The Integrated Assessment of the Value of Forest Ecosystem Services. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], 2018, no. 3, pp. 120–124]. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-13120

4. *Макаров В.П., Малых О.Ф., Горбунов И.В., Пак Л.Н., Зима Ю.В., Банщикова Е.А., Желибо Т.В.* Влияние пожаров на флористическое разнообразие сосновых лесов Восточного Забайкалья // Лесн. журн. 2019. № 1. С. 77–86. (Изв. высш. учеб. заведений). [Makarov V.P., Malykh O.F., Gorbunov I.V., Pak L.N., Zima Yu.V., Banshchikova E.A., Zhelibo T.V. Influence of Fires on Pine Forest Floristic Diversity of the Eastern Transbaikal Territory. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 77–86]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.77. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/8e1/77_86.pdf

5. *Москальченко С.А., Пономарев Е.И., Иванов А.В.* Горимость лесов Красноярского края в современных условиях // Хвойные бореальной зоны. 2014. Т. 32, № 1-2. С. 33–39. [Moskal'chenko S.A., Ponomarev E.I., Ivanov A.V. Fire Frequency of Forests of Krasnoyarsk Krai under Current Conditions. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2014, vol. 32, no. 1–2, pp. 33–39].

6. Об утверждении Инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами: приказ Рослесхоза № 53 от 03.04.1998 г. Доступ из справ.-правовой стстемы «КонсультантПлюс». [*Order of the Federal Forestry Agency of April 03, 1998 No. 53 "On the Approval of the Instruction for the Determination of Damage Caused by Forest Fires"*. Access from the Reference Legal System "Consultant Plus"].

7. Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды: приказ Рослесхоза № 287 от 5.07.2011 г. Доступ из справ.-правовой стстемы «КонсультантПлюс». [*Order of the Federal Forestry Agency of July 05, 2011 No. 287 "On the Approval of Classification of Natural Fire Hazard of Forests and Classification of Fire Hazard in Forests Depending on Weather Conditions"*. Access from the Reference Legal System "Consultant Plus"].

8. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2014 году: гос. докл. Иркутск: Форвард, 2015. 328 с. [*On the State and Environmental Protection of Irkutsk Region in 2014*: State Report. Irkutsk, Forvard Publ., 2015. 328 p.].

9. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году: гос. докл. Иркутск: Мегапринт, 2018. 249 с. [*On the State and Environmental Protection of Irkutsk Region in 2017*: State Report. Irkutsk, Megaprint Publ., 2018. 249 p.].

10. О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах: постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913. Доступ из справ.-правовой стстемы «КонсультантПлюс». [*Decree of the Government of the Russian Federation of September 13, 2016 No. 913 "On the Rates of Fees for the Negative Impact on the Environment and Additional Coefficients"*. Access from the Reference Legal System "Consultant Plus"].

11. *Тимофеева С.С., Гармышев В.В*. Методика оценки неучтенной экологической нагрузки на атмосферу, создаваемую пожарами Иркутской области // Вестн. Забайк. гос. ун-та. 2016. Т. 22, № 1. С. 48–56. [Timofeeva S., Garmyshev V. Assessment of the Unaccounted Environmental Pressure on the Atmosphere Created by the Fires of the Irkutsk Region. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Transbaikal State University Journal], 2016, vol. 22, no. 1, pp. 48–56].

12. *Тимофеева С.С., Гармышев В.В*., *Хисматулин С.Р., Малыхин А.В.* Социальные, экономические и экологические последствия пожаров в муниципальных центрах Сибирского федерального округа: анализ, оценка, прогноз. Иркутск: Аспринт, 2010. 169 с. [Timofeeva S.S., Garmyshev V.V., Khismatulin S.R., Malykhin A.V. *Social, Economic and Environmental Consequences of Fires in the Civic Centers of the Siberian Federal District: Analysis, Assessment, and Forecast*. Irkutsk, Asprint Publ., 2010. 169 p.].

13. *Цветков П.А., Буряк Л.В.* Исследования природы пожаров в лесах Сибири // Сиб. лесн. журн. 2014. № 3. С. 25–42. [Tsvetkov P.A., Buryak L.V. Studies of Fire Nature in the Forests of Siberia]. *Sibirskij Lesnoj Zurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2014, no. 3, pp. 25–42].

14. *Цветков П.А., Горбунов А.С.* Влияние рекреации на природную пожарную опасность сосновых лесов заповедника «Столбы» // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 1. С. 72–79. [Tsvetkov P.A., Gorbunov A.S. The Influence of Recreation on Natural Fire Hazard of Pine Forests of the Reserve "Stolby". *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2007, vol. 24, no. 1, pp. 72–79].

15. Bouchard M., Pothier D. Long-Term Influence of Fire and Harvesting on Boreal Forest Age Structure and Forest Composition in Eastern Québec. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, iss. 4, pp. 811–820. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.11.020

16. Carrasco L.R., Nghiem T.P.L., Sunderland T., Koh L.P. Economic Valuation of Ecosystem Services Fails to Capture Biodiversity Value of Tropical Forests. *Biological Conservation*, 2014, vol. 178, pp. 163–170. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.08.007

17. Clear J.L., Seppä H., Kuosmanen N., Bradshaw R.H.W. Holocene Fire Frequency Variability in Vesijako, Strict Nature Reserve, Finland, and Its Application to Conservation and Management. *Biological Conservation*, 2013, vol. 166, pp. 90–97. DOI: 10.1016/j.biocon.2013.06.008

18. Conard S.G., Sukhinin A.I., Stocks B.J., Cahoon D.R., Davidenko E.P., Ivanova G.A. Determining Effects of Area Burned and Fire Severity on Carbon Cycling and Emissions in Siberia. *Climatic Change*, 2002, vol. 55, iss. 1-2, pp. 197–211. DOI: 10.1023/A:1020207710195

19. Engelmark O. Forest Fires in the Muddus National Park (Northern Sweden) during the Past 600 Years. *Canadian Journal of Botany*, 1984, vol. 62, iss. 5, pp. 893–898. DOI: 10.1139/b84-127

20. Knorre A.A., Kirdyanov A.V., Prokushkin A.S., Krusic P.J., Büntgen U. Tree Ring-Based Reconstruction of the Long-Term Influence of Wildfires on Permafrost Active Layer Dynamics in Central Siberia. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 652, pp. 314–319. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.124

21. Lavoie L., Sirois L. Vegetation Changes Caused by Recent Fires in the Northern Boreal Forest of Eastern Canada. *Journal of Vegetation Science*, 1998, vol. 9, iss. 4, pp. 483–492. DOI: 10.2307/3237263

22. Martinez-Harms M.J., Bryan B.A., Balvanera P., Law E.A., Rhodes J.R., Possingham H.P., Wilson K.A. Making Decisions for Managing Ecosystem Services. *Biological Conservation*, 2015, vol. 184, pp. 229–238. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.01.024

## VEGETATION FIRES AS A FACTOR OF REDUCING THE VOLUME OF ECOSYSTEM SERVICES OF FORESTS OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS

***I.V. Volchatova,*** *Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: AAB-8113-2019, ORCID: 0000-0003-0515-8811*
Irkutsk National Research Technical University, ul. Lermontova, 83, Irkutsk, 664074, Russian Federation; e-mail: belyana64@inbox.ru

Specially protected natural areas of federal importance in Irkutsk region occupy 1.84 mln ha, or 2.38 % of its area. Two objects are located in the central ecological zone of the Baikal natural territory (Baikal-Lena Nature Reserve and Pribaikal National Park); and are represented by five objects, two of which are located in the central ecological zone of the Baikal natural area (Baikal-Lena Nature Reserve, Pribaikalsky National Park). One of the key problems in these territories is fires. The article provides a brief forest fire characteristic of Irkutsk region; the analysis of fire frequency of vegetation of the Baikal-Lena Nature Reserve and Pribaikalsky National Park in 2007–2018 based on the statistical data is made. Fires occurred between March 28 and October 31 during these years. The maximum number of combustion

occurrences grown into fires in the Pribaikalsky National Park was observed in April–June. In the Baikal-Lena Nature Reserve the starting dates for forest fires are shifted to summer. The maximum area covered by fires was in 2015. More than half of all the fires registered in recent years in the National Park (57 %) are in the forest areas of Irkutsk region, 13 % in the forest areas of the Slyudyanskiy district and 30 % in the forest areas of the Ol'khonskiy district of Irkutsk region. The dependence of the fire hazard on the recreational load of the territory is observed. Most of the fires occurred in forest ecosystems, which led to a significant reduction in the potential of ecosystem services of forests. The total damage averaged 136.26 mln rub a year for the Pribaikalsky National Park, and 1,081.71 mln rub a year for the Baikal-Lena Nature Reserve. This amount includes the costs from wood losses, damage from a decrease in the environment-forming functions of a forest and pollution of the surrounding environment by burning products. This value also characterizes the decrease in the volume of regulating, supporting and cultural services of the forest. The analysis of the sources of vegetation fires and their consequences was carried out using the Bowtie method. Security barriers have been proposed. They reduce the likelihood of fires and extent of their consequences. The most effective barriers could be the introduction of autonomous systems for monitoring forest fires, increasing environmental awareness and culture of tourists.

***For citation:*** Volchatova I.V. Vegetation Fires as a Factor of Reducing the Volume of Ecosystem Services of Forests of Specially Protected Natural Areas. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 79–91. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.79

*Keywords:* specially protected natural areas, forest, vegetation fires, fire frequency, wood loss, damage.

Поступила 02.04.19 / Received on April 02, 2019

УДК 581.43:631.811:630*161.32:676.032.16
DOI: 10.17238/issn0536-1036. 2019.6.92

# ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА УРОВЕНЬ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

***В.М. Лебедев, д-р с.-х. наук, проф;*** *ResearcherID: M-8699-2019, ORCID: 0000-0003-3316-854X*
***Е.В. Лебедев, канд. биол. наук, доц;*** *ResearcherID: G-9445-2019, ORCID: 0000-0002-5824-6981*
Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97, г. Н. Новгород, Россия, 603107; e-mail: proximus39@mail.ru, proximus77@mail.ru

Проведены комплексные эколого-физиологические исследования на уровне организма реакции растений сосны обыкновенной на изменение плодородия почвы в целях получения количественных показателей функционирования листового аппарата, корневой системы и характера их взаимосвязи. Биологическую продуктивность рассчитывали по В.М. и Е.В. Лебедевым, чистую продуктивность фотосинтеза – по А.А. Ничипоровичу, минеральную продуктивность – по В.М. Лебедеву. В условиях микрополевого опыта на серой лесной почве изучена реакция 2–3-летних растений сосны обыкновенной на внесение на фоне $P_{60}K_{60}$ по 30, 60, 120 и 240 кг/га азота. Выявлено, что увеличение уровня азотного питания привело к изменению эколого-физиологических показателей работы корневой системы и листового аппарата (отношения корневого потенциала к фотосинтетическому, поглощения азота единицей активной поверхности корней в сутки, чистой продуктивность фотосинтеза, биологической продуктивности растений). Уровень азотного питания практически не влиял на чистую продуктивность фотосинтеза, но способствовал повышению биологической продуктивности в 1,2–1,5 раза. Рост уровня азотного питания привел к изменению соотношения между величинами корневого и фотосинтетического потенциалов в пользу листового аппарата. Между фотосинтетическим потенциалом и приростом сухой массы установлена высокая положительная связь (r = 0,931–0,992), между отношением корневого потенциала к фотосинтетическому и поглощением азота – высокая отрицательная корреляция (r = –(0,843–0,963)). Максимальное значение биологической продуктивности у сосны было отмечено при дозе азота 120 кг/га. Дальнейшее повышение уровня азотного питания привело к уменьшению этого показателя и оказалось токсичным. Реакция сосны на снижение плодородия почвы (вследствие его высокой инерционности) определена в результате ретроспективного комплексного эколого-физиологического анализа табличных данных фитомассы, составленных В.А. Усольцевым, для древостоев, произраставших в европейской и азиатской частях России в возрастной период от 10–20 до 150–300 лет. Естественное снижение плодородия почвы во всех регионах с возрастом древостоев сосны от 25 до 100 лет вызвало уменьшение поглощения азота в 18,5–84,5 раза, чистой продуктивности фотосинтеза – в 3,4–18,0 раз. Корреляция между возрастом растений и поглощением азота и чистой продуктивностью фотосинтеза варьировала от –0,714 до –0,870 и от –0,894 до –0,991 соответственно. Снижение активности работы фотосинтетического аппарата и корневой системы отрицательно сказалось на биологической продуктивности, которая упала от 2,8 до 4,0 раз в зависимости от региона. Связь биологической продуктивности с возрастом была высокая отрицательная (коэффициент корреляции варьировал от –0,572 до –0,783). Связь минеральной продуктивности с биологической продуктивностью и чистой продуктивностью фотосинтеза во всех случаях была высокой положительной: от 0,907 до 0,994 и от 0,757 до 0,932 соответственно. Начиная с

25 лет, растения адаптировались к снижению почвенного плодородия путём увеличения отношения корневого потенциала к фотосинтетическому, которое, в зависимости от региона, в течение онтогенеза выросло от 4,8 до 12,5 раза. Такая неспецифическая реакция подтверждается высокой положительной корреляцией (r = 0,947–0,997) отношения корневого потенциала к фотосинтетическому с возрастом дерева.
***Для цитирования:*** Лебедев В.М., Лебедев Е.В. Эколого-физиологические особенности реакции сосны обыкновенной на уровень плодородия почвы как показатель адаптации к условиям среды // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 92–103. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.92

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, азотное питание, минеральная продуктивность, чистая продуктивность фотосинтеза, уровень организма, биологическая продуктивность.

## *Введение*

При рассмотрении проблемы повышения продуктивности сосновых древостоев с эколого-физиологических позиций весьма важным вопросом является работа адаптивных механизмов растения, обеспечивающих его выживание в изменяющихся условиях внешней среды [10, 20, 24, 30, 31]. При этом динамика продукционного процесса выступает как обобщенный показатель работы листового аппарата, обеспечивающего синтез органических веществ [15], и корневой системы, осуществляющей поглотительную и распределительную функции растения [5]. Поэтому изучение особенностей взаимосвязи фотосинтетического аппарата и корневой системы в изменяющихся условиях является ключом к пониманию изменений продукционного процесса и возможностей его ускорения. Так как работа единицы поверхности листового аппарата и активной части корневой системы может быть различной в зависимости от условий окружающей среды, то целесообразно рассматривать суммарные количественные данные их работы на уровне всего организма.

Определить реакцию древесного вида на повышение и снижение плодородия почвы в границах адаптации в одном эксперименте сложно. Однако совмещение эксперимента по увеличению почвенного плодородия с данными наблюдений за древостоями, истощающими ресурс минеральных элементов в процессе роста, позволит иметь требуемые данные на всем протяжении кривой Шелфорда, между обеими зонами угнетения. Поэтому в задачу исследования входило получение количественных показателей реакции растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как на увеличение (путем постановки эксперимента с увеличением азотного питания), так и на снижение (путем проведения ретроспективного комплексного эколого-физиологического анализа составленных В.А. Усольцевым [18] табличных данных фитомассы сосновых древостоев в 7 контрастных экологических условиях произрастания древостоев сосны обыкновенной на пространстве от европейской части России до Центральной и Восточной Сибири в онтогенезе) плодородия.

## *Объекты и методы исследования*

Изучение реакции сосны обыкновенной на повышение содержания азота в почве на уровне организма проведено в условиях микрополевого опыта на

серой лесной почве при внесении $Р_{60}К_{60}$ и удваивающихся доз азота в диапазоне 30...240 кг/га. По окончании вегетационного периода растения извлекали из почвы без нарушения корневых окончаний, фрагментировали на хвою, стебли и корневые пряди, которые взвешивали и проводили морфометрические и аналитические определения. Обработаны данные масс листового аппарата, стволиков, ветвей и корней 72 растений, в том числе измеряли параметры активной и проводящей частей корневых прядей общей длиной более 100 м с точностью ± 1 мм. Морфометрические показатели корневых систем и минеральную продуктивность определяли по И.А. Муромцеву [13] и В.М. Лебедеву [7] с учетом наших разработок 1999–2008 гг. [9]. Поверхность хвои рассчитывали по приведенной нами ранее методике [1], чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) – по [14, 23], биологическую продуктивность (БП) – делением конечной (за наблюдаемый период) сухой массы растения на начальную [8].

Для уточнения реакции растений на снижение ресурса элементов питания в почве использовали возрастную динамику изменения количественных эколого-физиологических характеристик древостоев сосны обыкновенной, так как почвенный ресурс элементов питания уменьшается с возрастом за счет выноса элементов растущим древостоем и по причине систематического вымывания азота из корнеобитаемого слоя [12, 17, 22, 28]. Количественные эколого-физиологические показатели растений определяли ретроспективным комплексным анализом приведенных В.А. Усольцевым [18] табличных данных фитомассы деревьев сосны в возрасте от 10–20 до 150–300 лет, произраставших в условиях нарастающего снижения плодородия почвы до крайне низкого уровня.

Комплексный анализ табличных данных масс растений [18] для получения количественных показателей функционирования корневой системы, листового аппарата и БП на уровне организма в различные возрастные периоды проводили балансовым методом с использованием данных наших модельных опытов [9], почвенно-климатических показателей мест произрастания [4] и вышеописанных методов изучения ЧПФ, минеральной продуктивности корней (поглощение азота N) – МП(N) корней и БП. Продолжительность вегетации определяли по безморозному периоду [25]. На уровень организма переходили путем пересчета суммарных сухих масс всех фракций растений, приведенных на 1 га [18], на растение средней массы. Расчёт поверхности хвои растений выполняли по методике [11].

Исходя из свойств модулярного организма [19] и высокого сходства анатомического строения корневых прядей (соотношения параметров активных и проводящих корней в пределах корневой системы [7, 13]), для определения активной поверхности корней целого растения использовали данные модельных опытов [9]. Наши суждения о возможности применения такого подхода основаны на том, что модулярные организмы растут за счет относительного увеличения количества физиологически активных «модулей», составляющих корневую систему и листовой аппарат.

Надземные и подземные модули первого уровня всегда молодые и функционально взаимосвязаны и обеспечивают гомеостатическое равновесие в системе, определяемое генотипом. Поэтому у модулярного организма физиологические функции листьев (фотосинтетическая деятельность) и корней первичного строения (поглотительная активность) растений разного возраста можно считать идентичными. Детальный анализ активной части корневой системы

и МП(N) корней проведен по [7, 13]. Концентрацию элементов питания в сухой массе растений определяли с использованием общепринятых агрохимических методик. Поскольку из-за генетического контроля процессов метаболизма концентрация элементов в сухой массе древесных растений мало подвержена колебаниям даже с изменением условий окружающей среды [2, 3, 6, 16, 27], то установленные нами для Поволжского региона значения их концентрации в биомассе можно использовать (с большим приближением к истинному значению) и в других экологических условиях.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Увеличение ресурса азотного питания в почве (30...240 кг/га) изменило аутэкологические показатели работы корневой системы и листового аппарата: отношение корневого потенциала к фотосинтетическому (КП/ФП), МП(N) корней, ЧПФ и БП растений. Для наглядного представления взаимосвязи отношения КП/ФП с показателями работы листового аппарата, корневой системы и БП приведены по единой шкале в процентах от максимума показателя (рис. 1).

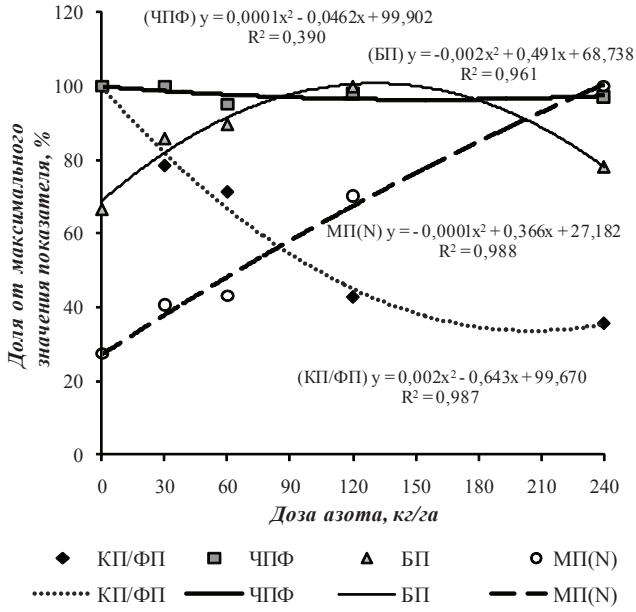



Рис. 1. Динамика основных физиологических показателей сосны обыкновенной при изменении азотного питания

Fig. 1. Dynamics of the main physiological parameters of Scots pine when nitrogen nutrition changes

Показано, что изменение дозы азота слабо отразилось на ЧПФ, но способствовало повышению БП в 1,2–1,5 раза. Между значениями ЧПФ и приростом биомассы (ΔР) коэффициент корреляции r = –0,449...0,460. Удобрения усиливали ростовые процессы поверхности хвои, приходящейся на единицу биомассы растения и фотосинтетического потенциала. Между ФП и ΔР установлена высокая положительная корреляционная зависимость в диапазоне от 0,931 до 0,992. Таким образом, с повышением уровня азотного питания растения сосны

для роста БП предпочитали не усиление энергетической эффективности фотосинтеза (ЧПФ), а увеличение поверхности хвои (ФП). Между КП/ФП и МП(N) установлена высокая отрицательная корреляционная связь (r = – (0,843–0,963)). Максимальное значение БП на фоне $P_{60}K_{60}$ у сосны вышло на плато при дозе азота 120 кг/га. Дальнейшее повышение уровня азотного питания оказалось токсичным и приводило к снижению БП. На рост уровня азотного питания в почве в границах адаптации растения сосны реагировали активизацией физиологических, функциональных и морфологических процессов, направленных на стабилизацию гомеостатического равновесия в организме.

Установлено, что во всех регионах России, начиная с возраста 25 лет и до 100 лет, наблюдалось резкое (от 18,5 до 84,5 раза) снижение поглощения азота (рис. 2).

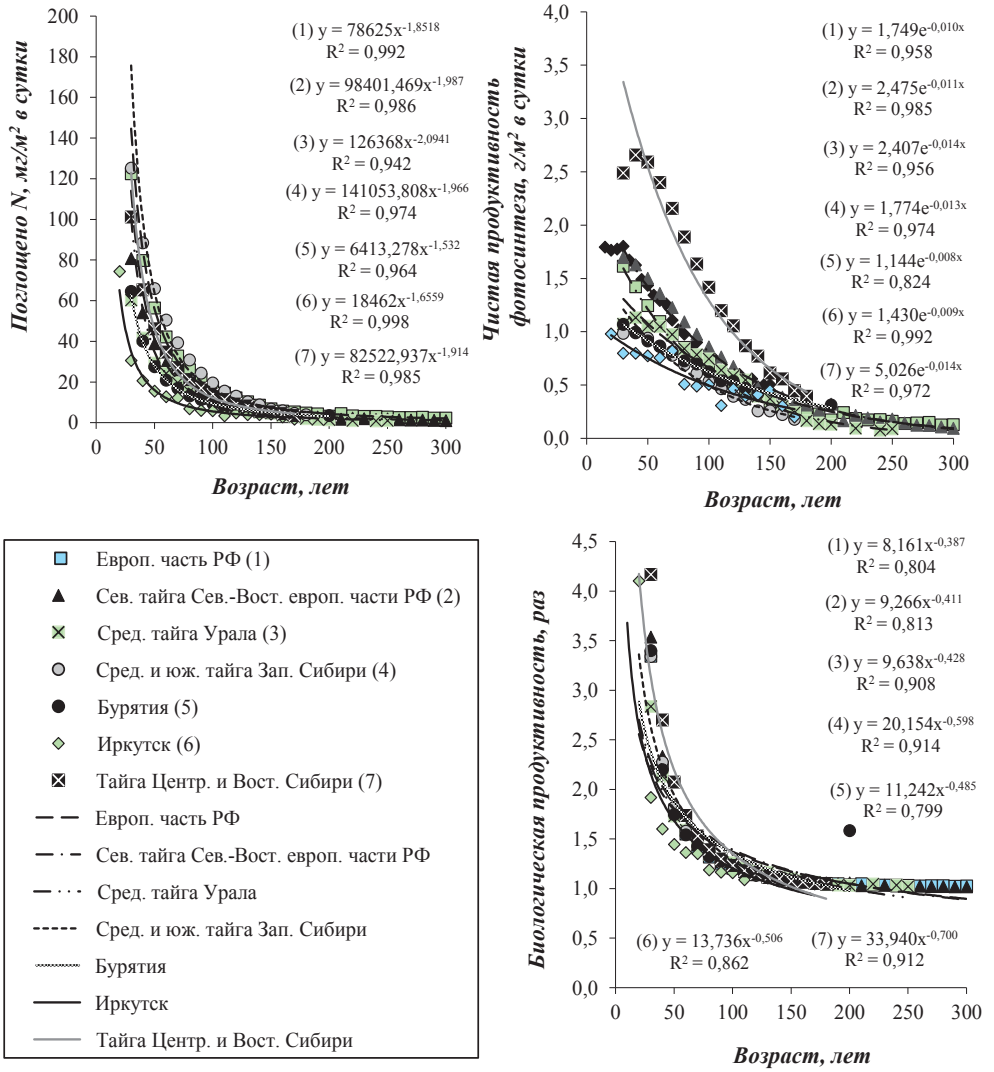



Рис. 2. Динамика основных физиологических показателей сосны обыкновенной с возрастом при снижении почвенного плодородия

Fig. 2. Dynamics of the main physiological parameters of Scots pine with age during a decrease in soil fertility

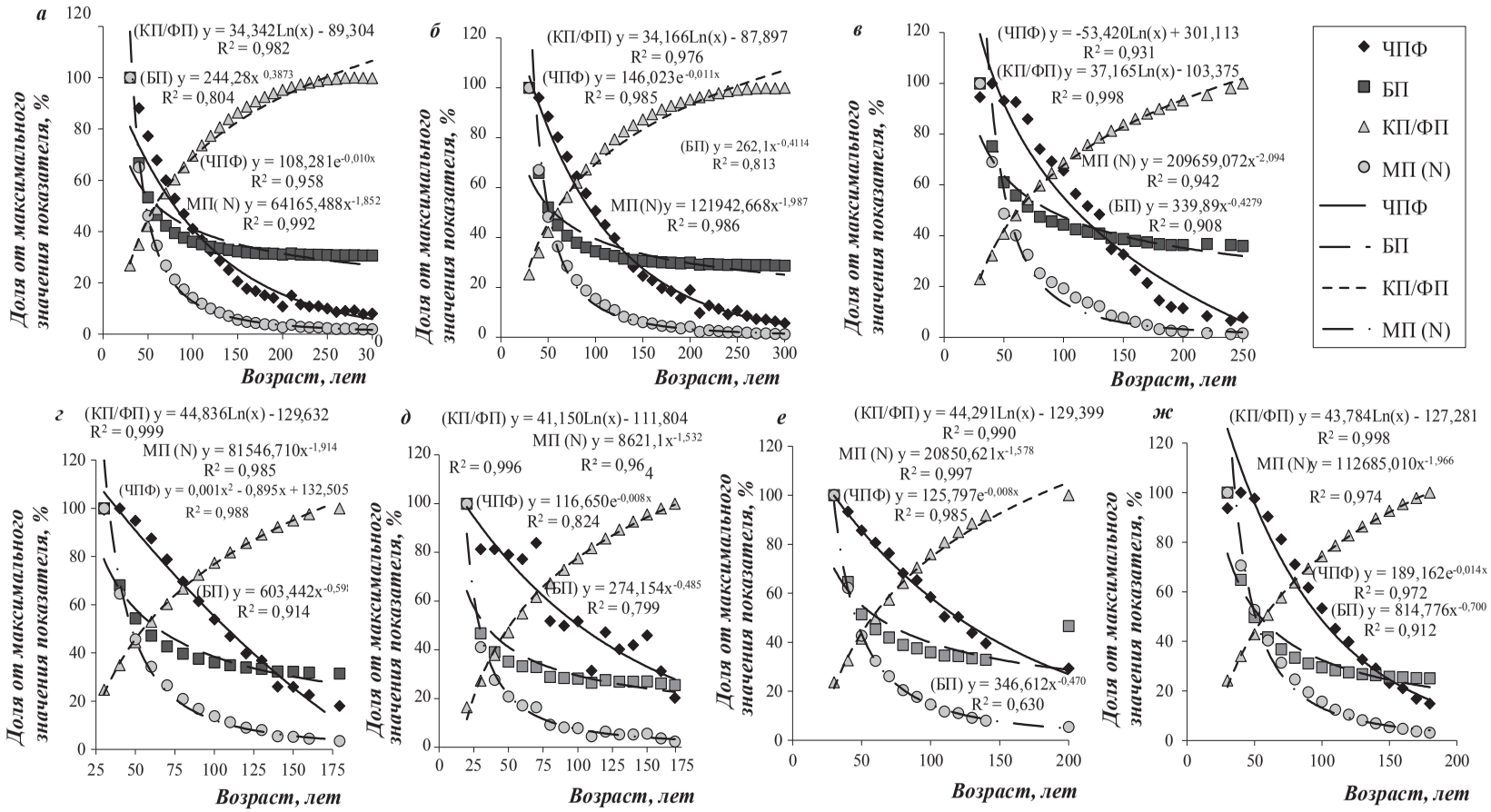



Рис. 3. Возрастная динамика основных физиологических показателей сосны обыкновенной в древостоях европейской и азиатской частей России

Fig. 3. Age dynamics of the main physiological parameters of Scots pine in the stands of the European and Asian parts of Russia

Коэффициент корреляции между значениями МП(N) и возрастом растений r = –(0,714–0,870). Истощение почвенного ресурса азота отрицательно сказалось на работе листового аппарата: ЧПФ за время наблюдения по регионам снизилось в 3,4–18,0 раза). Между возрастом растений и значениями ЧПФ выявлена высокая отрицательная корреляционная зависимость (r = –(0,894–0,991)).

Пониженное функционирование корневой системы и листового аппарата отразилось на величине БП (значение уменьшилось в 2,8–4,0 раза). Между возрастом растений и значениями БП наблюдалась отрицательная корреляционная зависимость (r = –(0,572–0,783)). В рассматриваемые возрастные периоды во всех регионах у растений сосны между МП(N), ЧПФ и БП просматривается высокая положительная корреляционная зависимость (r изменяется соответственно от 0,757 до 0,932 и от 0,907 до 0,994). Если до 100-летнего возрастного периода растений естественное плодородие почвы регионов вызывало некоторое различие в поглощении корнями азота, то в последующие годы поглотительная деятельность корней у растений сосны во всех регионах была практически на одном, крайне низком уровне.

Таким образом, у растений сосны на уровне организма с 25-летнего возраста на снижение плодородия почвы активизируется неспецифическая адаптивная реакция, направленная на стабилизацию гомеостатического равновесия в системе и приведшая к изменению соотношения КП/ФП (рис. 3; *а* – европейская часть РФ, *б* – северная тайга северо-Востока европейской части РФ, *в* – средняя тайга Урала, *г* – средняя и южная тайга Западной Сибири, *д* – Иркутск, е – Бурятия, *ж* – тайга Центральной и Восточной Сибири).

С увеличением возраста растений отношение в пользу корней по регионам возрастает в 4,8–12,5 раза, а между значениями КП/ФП и возрастом растений устанавливается высокая обратная (r = –(0,947–0,997)) корреляционная связь. Это связано с весьма низкими в природных условиях концентрациями большинства минеральных элементов [21], которые, поступая из почвенного раствора, не могут полностью удовлетворить потребность растений в минеральном питании. Значительная же часть их движется к корню благодаря диффузии [26], которая часто лимитирует скорость их поглощения, особенно на холодных почвах [29]. При низких концентрациях и скорости диффузии элементов растение не может существенно усилить их поглощение, поэтому наращивает активную поверхность корней относительно поверхности хвои в целях увеличения подачи элементов в надземные органы, для поддержания жизненно необходимого фотосинтеза и стабилизации биологической продуктивности.

## *Заключение*

В условиях микрополевого опыта при изменении уровня азотного питания от 30 до 240 кг/га и ретроспективном комплексном эколого-физиологическом анализе табличных данных сухих масс древостоев, произраставших в европейской и азиатской частях России в возрастной период от 10–20 до 150–300 лет, на уровне организма получены сравнительные количественные показатели реакции сосны обыкновенной на повышение и понижение плодородия почвы в пределах толерантности вида, включая зону оптимума, а также обе зоны угнетения кривой Шелфорда.

Повышение уровня азотного питания практически не влияло на чистую продуктивность фотосинтеза сосны, но способствовало росту биологической продуктивности в 1,2–1,5 раза. Повышение уровня азотного питания привело к изменению отношения корневого потенциала к фотосинтетическому в пользу листового аппарата. Между значениями чистой продуктивности фотосинтеза и приростом биомассы коэффициент корреляции изменялся от –0,449 до 0,460, а между фотосинтетическим потенциалом и приростом сухой массы – от 0,931 до 0,992. Между отношением корневого потенциала к фотосинтетическому и поглощением азота единицей активной поверхности корней в сутки установлена отрицательная корреляционная связь: r = –(0,843...0,963).

Естественное снижение плодородия почвы в онтогенезе изменило отношение корневого потенциала к фотосинтетическому по регионам в пользу корней в 4,8–12,5 раза, поглощение азота единицей активной поверхности корней в сутки снизилось от 18,5 до 84,5 раз. Коэффициент корреляции между возрастом растений и значениями минеральной продуктивности (по азоту) и отношением корневого потенциала к фотосинтетическому варьировал от –0,714 до –0,870 и от 0,947 до 0,997 соответственно. Истощение почвенного плодородия снизило чистую продуктивность фотосинтеза в 3,4–18,0 раза, биологическую продуктивность – от 2,8 до 4,0 раза. Связь возраста растений с чистой продуктивностью фотосинтеза и биологической продуктивностью была высокая отрицательная: от –(0,894–0,991) и от –(0,572–0,783) соответственно.

Количественные показатели корневого питания, фотосинтетической активности листового аппарата и характер их связи являются чувствительными аутэкологическими характеристиками реакции древесных видов на действующий комплекс факторов внешней среды и с эколого-физиологических позиций могут быть использованы для оценки их адаптивности и управления продукционным процессом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Бессчётнов В.П., Лебедев Е.В.* Фотосинтез и биологическая продуктивность лесообразующих пород Волго-Вятского региона // Актуальные проблемы лесного хозяйства и рациональное использование ресурсов Нижегородской области. Н. Новгород, НГСХА, 2002. С. 107–116. [Besschetnov V.P., Lebedev E.V. Photosynthesis and Biological Productivity of Forest-Forming Species of Volga-Vyatka Region. *Actual Problems of Forestry and Rational Use of Natural Resources of Nizhny Novgorod Region*. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2002, pp. 107–116].

2. *Вахмистров Д.Б., Воронцов В.А.* Избирательная способность растений не направлена на обеспечение их максимального роста // Физиология растений. 1997. Т. 44. № 3. С. 404–412. [Vakhmistrov D.B., Vorontsov V.A. Selective Nutrient Uptake by Plants is not Aimed at Providing Superior Growth. *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology], 1997, vol. 44, no. 3, pp. 404–412].

3. *Ильин В.Б.* Элементарный химический состав растений. Факторы, его определяющие // Изв. Сиб. отд. АН СССР. 1977. № 10. Сер.: Биол. науки. Вып. 2. С. 3–14. [Il'in V.B. Elemental Chemical Composition of Plants. Determinal Factors. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR. Seriya biologicheskiye nauki*, 1977, no. 10, iss. 2, pp. 3–14].

4. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1973. 203 с. [Kurnayev S.F. *Forest Site Zoning of the USSR*. Moscow, AN SSSR Publ., 1973. 203 p.].

5. *Курсанов А.Л.* Транспорт ассимилятов в растении. М.: Наука, 1976. 647 с. [Kursanov A.L. *Transport of Assimilates in the Plant*. Moscow, Nauka Publ., 1976. 647 p.].

6. *Лавриченко В.М.* Соотношение элементов питания в растениях как видовое генотипическое понятие // Вестн. с.-х. науки. 1971. № 7. С. 129–134. [Lavrichenko V.M. The Ratio of Nutrients in Plants as a Species Genotypic Concept. *Vestnik sel'sko-khozyaystvennoy nauki*, 1971, no. 7, pp. 129–134].

7. *Лебедев В.М.* Определение активной поверхности и минеральной продуктивности корневой системы плодовых и ягодных культур // Методика исследования и вариационная статистика в научном плодоводстве: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Мичуринск, 25–26 марта 1998 г. Мичуринск: МГСХА, 1998. Т. 2. С. 39–42. [Lebedev V.M. Determination of the Active Surface and Mineral Productivity of the Root System of Fruit and Berry Crops. *Methods of Research and Variation Statistics in Scientific Fruit Growing: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Michurinsk, March 25–26, 1998*. Michurinsk, MGSKhA Publ., 1998, vol. 2, pp. 39–42].

8. *Лебедев В.М., Лебедев Е.В.* Сравнительное определение продуктивности лесных пород // Нетрадиционные и редкие растения, природные соединения и перспективы их использования: VII междунар. симп., Белгород, 24–27 мая 2006 г. Белгорд: Политерра, 2006. Т. 1. С. 213–216. [Lebedev V.M., Lebedev E.V. Comparative Determination of the Forest Species Productivity. *Non-Traditional and Threatened Species of Plants, Natural Compounds and Prospects for Their Use: Proceedings of the 7th International Symposium, Belgorod, May 24–27, 2006*. Belgorod, Polyterra Publ., 2006, vol. 1, pp. 213–216].

9. *Лебедев В.М., Лебедев Е.В.* Морфологические, функциональные и физиологические особенности активной части корневой системы лесообразующих пород Волго-Вятского региона // Агрохимия. 2011. № 4. С. 38–44. [Lebedev V.M., Lebedev E.V. Morphological, Functional, and Physiological Features of Active Roots of Forest-Forming Species in the Volga-Vyatka Region. *Agrokhimiya* [Eurasian Soil Science], 2011, no. 4, pp. 38–44].

10. *Лебедев В.М., Лебедев Е.В.* Вопросы аллелопатии в лесных фитоценозах – состояние и перспективы // Агрохимия. 2015. № 4. С. 85–91. [Lebedev V.M., Lebedev E.V. Questions of Allelopathy in Forest Phytocenoses – State and Prospects. *Agrokhimiya* [Eurasian Soil Science], 2015, no. 4. pp. 85–91].

11. *Лебедев В.М., Лебедев Е.В.* Функционирование листового аппарата, корневой системы и биологической продуктивности лиственницы сибирской на уровне организма в онтогенезе (на примере лиственничников Архангельской области) // Лесн. журн. 2018. № 3. С. 9–19. (Изв. высш. учеб. заведений). [Lebedev V.M., Lebedev E.V. Functioning of the Leaf Apparatus, Root System and Biological Productivity of Siberian Larch on the Level of the Organism in Ontogeny (the Case of Larch Forests of the Arkhangelsk Region). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 3, pp. 9–19]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.3.9; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/e25/9_19.pdf

12. *Лиханова Н.В.* Влияние сплошнолесосечной рубки на круговорот азота и зольных элементов в ельниках средней тайги: дисс. … канд. биол. наук. Сыктывкар, 2015. 203 с. [Likhanova N.V. *The Impact of Clear Felling on the Cycle of Nitrogen and Ash Elements in Spruce Forests of Middle Taiga*: Cand. Biol. Sci. Diss. Syktyvkar, 2015. 203 p.].

13. *Муромцев И.А.* Методические указания к изучению всасывающей (активной) части корневой системы плодовых растений //Тр. Плодоовощного института им. И.В. Мичурина. 1967. Т. 21. С. 123–135. [Muromtsev I.A. Methodology Guidelines for the Study of the Suction (Active) Part of the Root System of Fruit Plants. *Trudy Plodoovoshchnogo instituta im. I.V. Michurina*, 1967, vol. 21, pp. 123–135].

14. *Ничипорович А.А.* О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // Тр. ИФР АН СССР. 1955. Т. 10. С. 210–249. [Nichiporovich A.A. On the Methods of Recording and Studying Photosynthesis as a Yield Factor. *Trudy Instituta Fiziologii Rasteniy AN SSSR*, 1955, vol. 10, pp. 210–249].

15. *Ничипорович А.А.* Теоретические и практические аспекты проблемы фотосинтеза // Вестн. АН СССР. 1972. № 12. С. 69–76. [Nichiporovich A.A. Theoretical and Practical Aspects of the Problem of Photosynthesis. *Vestnik AN SSSR*, 1972, no. 12, pp. 69–76].

16. *Придача В.Б., Сазонова Т.А.* Морфофизиологическая реакция сосны обыкновенной в условиях гидролесомелиорации. Влияние рубок ухода, применение удобрений и осушения на содержание азота, фосфора и калия в органах деревьев // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 32–38. (Изв. высш. учеб. заведений). [Pridacha V.B., Sazonova T.A. Morphological Response of Scotch Pine under Silvicultural Operations. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2010, no. 4, pp. 32–38]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/873/873b7937eb1a0eae4e092422cf7309eb.pdf

17. *Разгулин С.М.* Минерализация азота в почвах бореальных лесов // Лесоведение. 2008. № 4. С. 57–62. [Razgulin S.M. Mineralisation of Nitrogen in the Soils of Boreal Forests. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 4, pp. 57–62].

18. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 763 с. [Usol'tsev V.A. Phytomass of Northern Eurasia Forests: Standards and Elements of Geography.Yekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 2002. 763 p.].

19. Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. *Ecology: Individuals, Populations and Communities*. Malden, MA, Wiley-Blackwell, 1999. 1068 p.

20. Cesco S., Neumann G., Tomasi N., Pinton R., Weisskopf L. Release of Plant-Borne Flavonoids into the Rhizosphere and Their Role in Plant Nutrition. *Plant and Soil*, 2010, vol. 329, iss. 1-2, pp. 1–25. DOI: 10.1007/s11104-009-0266-9

21. Cox G.W., Atkins M.D. *Agricultural Ecology: An Analysis of World Food Production Systems*. San Francisco, W.H. Freeman, 1979. 721 p.

22. Jost G., Dirnböck T., Grabner M.-T., Mirtl M. Nitrogen Leaching of Two Forest Ecosystems in a Karst Watershed. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2011, vol. 218, iss. 1-4, pp. 633–649. DOI: 10.1007/s11270-010-0674-8

23. Kidd F., West C., Briggs G.E. A Quantitative Analysis of the Growth of *Helianthus annuus*. Part I. – The Respiration of the Plant and of Its Parts throughout the Life Cycle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 1921, vol. 92, iss. 648, pp. 368–384. DOI: 10.1098/rspb.1921.0033

24. Koocheki A., Lalegani B., Hosseini S.A. Ecological Consequences of Allelopathy. *Allelopathy*. Ed. by Z. Cheema, M. Farooq, A. Wahid. Berlin, Springer, 2013, pp. 23–38. DOI: 10.1007/978-3-642-30595-5_2

25. Lundmark T., Bergh J., Strand M., Koppel A. Seasonal Variation of Maximum Photochemical Efficiency in Boreal Norway Spruce Stands. *Trees*, 1998, vol. 13, iss. 2, pp. 63–67. DOI: 10.1007/s004680050187

26. Nye P.H., Tinker P.B. *Solute Movement in the Soil-Root System*. Berkeley, University of California Press, 1977. 342 p.

27. Pollmer W.G., Eberhard D., Klein D., Dhillon B.S. Genetic Control of Nitrogen Uptake and Translocation in Maize. *Crop Science Abstract*, 1979, vol. 19, no. 1, pp. 82–86. DOI: 10.2135/cropsci1979.0011183X001900010019x

28. Ranger J., Bonnaud P., Bouriaud O., Gelhaye D., Picard J.-F. Effects of the Clear-Cutting of a Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) Plantation on Chemical Soil Fertility. *Annals of Forest Science*, 2008, vol. 65, iss. 3, p. 303. DOI: 10.1051/forest:2008001

29. Rosenvald K., Ostonen I., Truu M., Truu J., Uri V., Vares A., Lõhmus K. Fine-Root Rhizosphere and Morphological Adaptations to Site Conditions in Interaction with Tree Mineral Nutrition in Young Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) Stands. *European Journal of Forest Research*, 2011, vol. 130, iss. 6, pp. 1055–1066. DOI: 10.1007/s10342-011-0492-6

30. Scognamiglio M., D'Abrosca B., Esposito A., Pacifico S., Monaco P., Fiorentino A. Plant Growth Inhibitors: Allelopathic Role or Phytotoxic Effects? Focus on Mediterranean Biomes. *Phytochemistry Reviews*, 2013, vol. 12, iss. 4, pp. 803–830. DOI: 10.1007/s11101-013-9281-9

31. Sonnewald U. Allelophysiology. *Strasburger's Plant Sciences*. Berlin, Springer, 2013, pp. 569–606. DOI: 10.1007/978-3-642-15518-5_8

## ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE SCOTS PINE REACTION TO THE SOIL FERTILITY LEVEL AS AN INDICATOR OF ADAPTATION TO ENVIRONMENTAL CONDITIONS

***V.M. Lebedev,*** *Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: M-8699-2019, ORCID: 0000-0003-3316-854X*
***E.V. Lebedev,*** *Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: G-9445-2019, ORCID: 0000-0002-5824-6981*
Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: proximus39@mail.ru, proximus77@mail.ru

Comprehensive ecological and physiological studies (on the organism level) of plant response of Scots pine to changes in soil fertility were carried out in order to obtain quantitative parameters of the leaf apparatus and root system functioning and nature of their interrelation. Biological productivity was calculated according to V.M. Lebedev and E.V. Lebedev (2006), net productivity of photosynthesis – according to A.A. Nichiporovich (1955), and mineral productivity – according to V.M. Lebedev (1998). The response of 2–3-year-old scots pine plants was studied for fertilization with 30, 60, 120 and 240 kg/ha of nitrogen against the fertilizer application rate of $P_{60}K_{60}$ under the conditions of a microfield experiment on gray forest soil. An increase in the level of nitrogen nutrition led to a change in the ecological and physiological parameters of the root system and leaf apparatus functioning: the ratio between root and photosynthetic potential, nitrogen absorption by the unit of the active surface of roots per day, net productivity of photosynthesis, and biological productivity of plants. The nitrogen status slightly affected the net productivity of photosynthesis, however drove up an increase in biological productivity by 1.2–1.5 times. An increase in the nitrogen status led to a change in the ratio between the values of root and photosynthetic potentials in favor of the leaf apparatus. A high positive correlation (0.931–0.992) between the photosynthetic potential and increase in dry mass; and a high negative correlation (–(0.843–0.963)) between the ratio of root potential to photosynthetic potential and nitrogen uptake were established. The maximum of pine biological productivity was observed at a nitrogen rate of 120 kg/ha. A further increase of the nitrogen status led to a decrease in biological productivity and was found to be toxic. The response of pine to a decrease in soil fertility (due to its slow response) was determined as a result of a retrospective comprehensive ecological and physiological analysis of tabular phytomass data compiled by V.A. Usol'tsev (2002) for tree stands growing in the European and Asian parts of Russia in the age range from 10–20 to 150–300 years. The natural decrease in soil fertility of pine stands with the age from 25 to 100 years in all the regions caused a decrease in nitrogen uptake by 18.5–84.5 times, and net productivity of photosynthesis by 3.4–18.0 times. The correlation between plant age, nitrogen uptake, and net productivity of photosynthesis ranged from –0.714 to –0.870 and –0.894 to –0.991, respectively. The decrease in the activity of photosynthetic apparatus and root system adversely affected the biological productivity, which fell from 2.8 to 4.0 times depending on the region. The relationship between biological productivity and age was high negative (correlation coefficient ranged from –0.572 to –0.783). The relationship between mineral productivity with biological productivity and net productivity of photosynthesis in all cases

was high positive from 0.907 to 0.994 and from 0.757 to 0.932, respectively. Starting from the age of 25, the plants adapted to a decrease in soil fertility by increasing the ratio of root to photosynthetic potential, which grew from 4.8 to 12.5 times during ontogenesis depending on the region. This nonspecific reaction is confirmed by the high positive correlation (from 0.947 to 0.997) of the ratio of root to photosynthetic potential with the tree age.
***For citation:*** Lebedev V.M., Lebedev E.V. Ecological and Physiological Features of the Scots Pine Reaction to the Soil Fertility Level as an Indicator of Adaptation to Environmental Conditions. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 92–103. DOI: 10.17238/ issn0536-1036.2019.6.92

*Keywords:* Scots pine, nitrogen nutrition, mineral productivity, net productivity of photosynthesis, organism level, biological productivity.

Поступила 27.05.19 / Received on May 27, 2019

УДК 634.0.232.31
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.104

# ОПЫТ ИНТЕНСИВНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ОДНОЛЕТНИХ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН*

***С.А. Кабанова*[1, 2]*, канд. биол. наук;*** *ResearcherID: T-1032-2019, ORCID: 0000-0002-3117-7381*
***М.А. Данченко*[3]*, канд. геогр. наук, доц.;*** *ResearcherID G-8315-2014, ORCID: 0000-0002-5974-9556*
***И.С. Кочегаров*[1]*, младший науч. сотр.;*** *ORCID: 0000-0003-1185-5218*
***А.Н. Кабанов*[1]*, науч. сотр.*** *ORCID: 0000-0002-5479-3689*
[1]Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, ул. Кирова, д. 58, г. Щучинск, Акмолинская область, Республика Казахстан, 021704; e-mail: kabanova.05@mail.ru, Garik_0188@mail.ru, anrabn@mail.ru
[2]Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, пр. Женис, д. 62, г. Астана, Республика Казахстан, 010011; e-mail: kabanova.05@mail.ru
[3]Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, д. 36, г. Томск, Россия, 634050; e-mail: mtd2005@sibmail.com

Исследования проводились в ГЛПР «Ертыс орманы» Павлодарской области на примере однолетних сеянцев сосны обыкновенной. Были заложены опыты по предпосевной подготовке семян с использованием стимуляторов Байкала, Гумата+7, Циркона и фунгицида Трихоцина, а также по внесению ростовых веществ (Агроперлит, ЭридГроу, Культура KZ и Грунт KZ, Гуматофосфат, Трихоцин, Триходерма, азот и фосфор) в почву до и после посева семян. Среднее значение лабораторной всхожести в опыте по замачиванию семян в стимуляторах превышало контроль на 5 и на 3,5 % – в опыте по совместному применению стимуляторов и фунгицида. Из всех изучаемых опытов наибольшей средней высотой (8,1 см) отличались сеянцы в опыте с поливом почвы ростовыми веществами после посева семян и применением укрывного материала Агротекс, причем некоторые экземпляры на первом году жизни достигали высоты 13 см, что соответствует показателям стандартного посадочного материала. Все варианты опыта превышали контроль по высоте в 2,0–2,4 раза. Сеянцы в аналогичном опыте по поливу почвы ростовыми веществами, но без укрывания посевов значительно отставали по росту, а средняя высота составила 4,8 см. Внесение сухих удобрений до посева семян положительно повлияло на интенсивность роста однолетних сеянцев, которые достигали средней высоты 4,9 см. По комплексу изученных количественных показателей роста однолетних сеянцев установлено, что для условий Павлодарской области рациональным способом выращивания посадочного материала является полив почвы ЭридГроу, Триходермой и Трихоцином с последующим укрыванием посевов Агротексом. Применение биологических фунгицидов положительно повлияло на интенсивность роста растений. Следует отметить, что сеянцы, росшие под укрывным материалом, имели наибольшие показатели надземной и подземной части растения по сравнению со всеми другими опытами. Кроме того, рекомендуется предпосевная обработка семян сосны обыкновенной Цирконом (6 ч) и Гуматофосфатом (12 ч) совместно с Трихоцином (2 ч).

*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2019 г.

***Для цитирования:*** Ведерников Е.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Толкач О.В. Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Средне-Уральского таежного лесного района Пермского края// Лесн. журн. 2019. № 6. С. 104–117. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.104

*Ключевые слова:* Агротекс, Трихоцин, Триходерма, ЭридГроу, сеянцы, сосна обыкновенная, стимулятор, фунгицид, Гумат.

## *Введение*

Воспроизводство лесов предполагает выращивание хозяйственно ценных, долговечных и устойчивых искусственных насаждений, поэтому необходимо создавать лесные культуры из высококачественного посадочного материала. В последние годы ученые разных стран уделяют внимание интенсификации выращивания сеянцев основных лесообразующих [7–9, 12, 18, 19, 22] и лесосоставляющих видов [13, 14] с применением различных стимуляторов, удобрений и фунгицидов. Используются как традиционные препараты (Крезацин, Силиплант, Байкал, Гумат и др.), так и малоизвестные [6, 21]. Причем в сельском хозяйстве и садоводстве стимуляторы применяются более часто, чем в лесном хозяйстве [15–17]. Для устранения негативных погодных факторов, таких как поздние заморозки, низкая летняя температура, обильные осадки и пр., посадочный материал выращивают в условиях закрытого грунта, для чего применяют укрывной материал [3, 11]. При выращивании посадочного материала и создании искусственных лесов в Северном Казахстане существуют определенные риски из-за природно-климатических условий региона [20]. Резко континентальный климат осложняет проведение лесовосстановительных мероприятий, снижает возможность выращивания высококачественного стандартного посадочного материала. Особенно остро проблема получения достаточного количества сеянцев сосны обыкновенной стоит в ленточных борах Прииртышья, где в конце прошлого века большие площади уникального леса были уничтожены лесными пожарами и самовольными вырубками. В настоящее время перед учеными Казахстана была поставлена задача ускоренного выращивания посадочного материала сосны обыкновенной по регионам Республики [4, 5]. Для этого были заложены научные опыты с воздействием ростовых веществ как на семена, так и на почву.

Целью исследований являлось выявление оптимальных интенсивных способов выращивания посадочного материала сосны обыкновенной с применением ростовых и стимулирующих веществ. В задачи исследований входило: определение лучшего способа предпосевной обработки семян сосны обыкновенной стимуляторами; изучение влияния ростовых веществ, внесенных в почву, на рост сеянцев.

## *Объекты и методы исследования*

Объектом исследований являлись однолетние сеянцы сосны обыкновенной, выращенные с применением ростовых веществ и укрывного материала. Наблюдения проводились в государственном лесном природном резервате (ГЛПР) «Ертыс орманы» Павлодарской области. Климат региона исследований резко континентальный, средняя температура воздуха составляет 2,3 °С, сред-

негодовая норма осадков – 278 мм. Почвы в питомнике резервата представлены дерново-боровыми связнопесчаными разностями, слабогумусные (содержание гумуса до 1,3 %), слабо обеспеченные подвижными формами азота и фосфора, супесчаные, легкие по механическому составу. Почвы характеризуются низкой максимальной гигроскопичностью (1,5–1,0) и полевой влагоемкостью (6–11 %).

Для определения основных показателей качества семян опыты были разделены на 2 части: в первом блоке наблюдения велись за семенами, замоченными в различных стимуляторах, во втором блоке семена выдерживались определенное время в тех же стимуляторах, но потом их замачивали в Трихоцине на 2 ч. Энергия прорастания и лабораторная всхожесть устанавливалась на 7-й и 15-й день наблюдений соответственно [1]. Схема закладки полевых опытов в питомнике следующая: 1) замачивание семян в стимуляторах на определенное время; 2) замачивание семян в стимуляторах на определенное время и последующая обработка Трихоцином в течение 2 ч; 3) полив почвы ростовыми веществами и биологическими фунгицидами Трихоцином и Триходермой с укрыванием посевов Агротексом; 4) аналогично третьему опыту, но без укрывания Агротексом; 5) внесение сухих ростовых веществ в почву перед посевом семян. Кроме общеизвестных стимуляторов было изучено влияние новых ростовых веществ, изобретенных казахскими учеными, – Культура KZ и Грунт KZ (удобрение на основе ила) и Гуматофосфат (вещество на основе гуматов). Каждый опыт заложен в двукратной повторности. Наблюдения проводились за приживаемостью и количественными показателями: высотой, длиной и массой корней и стволиков. Приживаемость сеянцев вычислялась как отношение числа всходов при учете грунтовой всхожести к сохранившимся растениям в осенний период. Высота измерялась у растущих сеянцев от верхушечной почки до корневой шейки [2, 10]. При определении высоты учитывалось не менее 400 сеянцев на учетных площадках каждого варианта в двух повторностях. В августе на каждом варианте было выкопано по 50 сеянцев, у которых определялась длина и масса надземной и подземной части. Для проведения данных замеров выбирались средние по высоте растения. Длина стволиков определялась от верхушечной почки до места ответвления первого корня сеянца путем замеров металлической линейкой, длина корней – от расположения верхнего корня до окончания подземной части. Надземные и подземные части сеянцев высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались на весах с точностью до 0,01 г. Проведение наблюдений было выполнено в два срока – в августе и начале октября.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Перед проведением посева семян в лесном питомнике были определены основные показатели качества семян сосны обыкновенной. Масса 1000 семян составила 10,1 г, чистота – 98,0 %.

В табл. 1 приведены результаты наблюдений за энергией прорастания и лабораторной всхожестью семян сосны обыкновенной. В первом блоке энергия прорастания имела достаточно высокие показатели – от 53 до 82 %, причем только вариант с замачиванием семян в Цирконе (6 ч) отставал от контроля. Показатели лабораторной всхожести у двух вариантов были меньше контрольного образца, наибольшая всхожесть наблюдалась при предпосевной обработке

семян Гуматом+7 (12 ч) и Байкалом (1 ч), значения данного признака составили 83 %.

Во втором блоке от контроля (75 %) отставали 2 варианта: с замачиванием в Байкале + Трихоцин в течение 1,5 + 2 ч (74 %) и в Гумате+7 + Трихоцин в течение 6 + 2 ч (71 %). Причем при предпосевной обработке этим же стимулятором и Трихоцином, но в течение 12 + 2 ч, лабораторная всхожесть составила 87 % и была наибольшей.

Если сравнивать лабораторную всхожесть семян в зависимости от длительности замачивания в одноименных стимуляторах, то можно увидеть, что более длительное воздействие Гумата+7 (12 ч) положительно влияет на увеличение показателя качества, а при использовании Циркона и Байкала требуется меньшее время для проведения предпосевной обработки – соответственно 3 и 1 ч.

В целом среднее значение лабораторной всхожести превышало контроль на 5 % в опыте первого блока и на 3,5 % – во втором блоке. Совместное применение стимуляторов и фунгицида позволило несколько повысить лабораторную всхожесть: средняя всхожесть семян из первого блока составила 75,6 %, во втором блоке – 79,7 %. Следовательно, предпосевная обработка стимуляторами и Трихоцином влияет на повышение всхожести семян сосны обыкновенной.

Таблица 1

**Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян сосны обыкновенной в ГЛПР «Ертыс орманы»**

| Наименование стимулятора | Время замачивания, ч | Дата наблюдений | | | | Процент от контроля |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 21.05 | 23.05 | 25.05 | 02.06 | |
| | | Число всходов по дням наблюдений | | | | |
| | | 3 | 5 | 7 | 15 | |
| Блок 1 | | | | | | |
| Байкал | 1,5 | 55 | 68 | 69 | 70 | 97,2 |
| Байкал | 1 | 68 | 82 | 82 | 83 | 115,3 |
| Гумат+7 | 6 | 64 | 73 | 78 | 80 | 111,1 |
| Гумат+7 | 12 | 61 | 75 | 80 | 83 | 115,3 |
| Циркон | 3 | 51 | 79 | 80 | 81 | 112,5 |
| Циркон | 6 | 37 | 53 | 56 | 58 | 80,6 |
| Гуматофосфат | 12 | 43 | 70 | 72 | 74 | 102,8 |
| Среднее по опыту | – | 54,1 | 71,4 | 73,9 | 75,6 | 105,0 |
| Контроль | – | 43 | 67 | 70 | 72 | 100 |
| Блок 2 | | | | | | |
| Байкал + Трихоцин | 1,5+2 | 64 | 72 | 73 | 74 | 96,1 |
| Байкал + Трихоцин | 1+2 | 66 | 79 | 80 | 81 | 105,2 |
| Гумат+7 + Трихоцин | 6+2 | 54 | 68 | 70 | 71 | 92,2 |
| Гумат+7 + Трихоцин | 12+2 | 84 | 86 | 86 | 87 | 113,0 |
| Циркон + Трихоцин | 3+2 | 73 | 80 | 83 | 83 | 107,8 |
| Циркон + Трихоцин | 6+2 | 64 | 73 | 76 | 78 | 101,3 |
| Гуматофосфат + Трихоцин | 12+2 | 78 | 83 | 83 | 84 | 109,1 |
| Среднее по опыту | – | 69,0 | 77,3 | 78,7 | 79,7 | 103,5 |
| Контроль + Трихоцин | 2 | 67 | 73 | 75 | 77 | 100 |

Посев семян в лесном питомнике проводился 12 мая 2018 г. Число высеянных семян на 1 пог. м посевной строчки составило 305 шт. (3,2 г). Посев производился по 6-строчной схеме вручную, посевные строчки мульчировались опилками. Кислотность почвы в лесном питомнике имела слабокислую среду – pH составило 5,85, что является оптимальным значением для роста сеянцев сосны обыкновенной.

Первые всходы появились через 10 дней на вариантах опыта с закрытым грунтом (Агротекс). Грунтовая всхожесть семян составила в среднем 89,6 %. Приживаемость сеянцев на опытных участках была достаточно высокой и изменялась от 87,0 (опыт с Агротексом) до 100 % (контроль). При осенней инвентаризации выявлено, что всходы сосны обыкновенной появлялись в течение всего вегетационного периода после массовых всходов. Наибольшей средней приживаемостью отличался опыт с внесением сухих веществ в почву до посева семян – 99,9 %.

Высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной в августе колебалась от 1,9 до 2,3 см в опыте с замачиванием семян в стимуляторах, от 1,7 до 2,1 см – в опытах с замачиванием семян в стимуляторах и Трихоцине. В опыте с замачиванием семян в стимуляторах два варианта превосходили по высоте контроль – применение Байкала (1 ч) и Циркона (6 ч). Вариант с замачиванием семян в Байкале в течение 1,5 ч имел одинаковую высоту с контролем, остальные варианты отставали по данному признаку. При совместном использовании стимулятора и Трихоцина наибольшую высоту имели сеянцы в опыте Гумат+7 + Трихоцин (12 + 2 ч) – 2,1 см. Все варианты опытов имели равное значение или превышали значение указанного показателя контрольных сеянцев. Следует отметить, что средняя высота сеянцев на вариантах опыта со стимуляторами и Трихоцином была меньше, чем при применении только стимуляторов (соответственно 1,8 и 2,1 см). Грунтовая всхожесть в двух опытах была примерно одинаковой и составила соответственно 42,1 и 43,1 %.

Осенняя инвентаризация однолетних сеянцев сосны обыкновенной в ГЛПР «Ертыс орманы» показала, что по сравнению с летними наблюдениями значительно увеличили свой рост сеянцы в опыте с использованием Агротекса – в 3,0–4,9 раза. Высота растений в других опытах увеличилась в 1,4–3,0 раза. К тому же произошло снижение различий по высоте между сеянцами: если, по летним наблюдениям, данный признак изменялся в основном на повышенном и высоком уровне изменчивости (V = 19,8–36,8 %), то к концу вегетационного периода значение коэффициента изменчивости снизилось до среднего и повышенного уровня (V = 10,2–27,3 %).

При использовании стимуляторов выявлено положительное влияние на рост сеянцев сосны обыкновенной применение Гумата+7 (замачивание в течение 12 ч) и Циркона (3 и 6 ч), причем некоторые сеянцы достигали максимальной высоты 8 см. При совместном использовании стимуляторов и Трихоцина наибольшим ростом отличались варианты с замачиванием в Гумате+7 + Трихоцин (12 + 2 ч), Байкале + Трихоцин (1 + 2 ч), Цирконе + Трихоцин (3,6 + 2 ч). Средний показатель высоты по двум опытам с применением стимуляторов и дополнительно Трихоцина составил соответственно 4,4 и 4,9 см, опытные варианты превышали контроль.

Следует отметить тот факт, что, за небольшим исключением, варианты опыта, семена в которых имели высокую лабораторную всхожесть, повторяли

эту тенденцию по росту сеянцев в аналогичных вариантах при выращивании в питомнике.

Из всех изучаемых опытов наибольшей средней высотой отличались сеянцы в опыте с поливом почвы ростовыми веществами и применением укрывного материала Агротекс (8,1 см), причем некоторые экземпляры достигали высоты 13 см, что соответствует показателям стандартного посадочного материала. Если сравнивать опыт посева семян и полива почвы ростовыми веществами с применением Агротекса и без него, то будет видно, что высота растений под укрывным материалом была больше на 22,7 %. Но при этом среднее число сеянцев на учетном ряду под Агротексом составило 155,7 шт, тогда как без применения укрывного материала их было больше – 178,5 растения, а грунтовая всхожесть составила соответственно 42,7 и 48,3 %. По вариантам опыта наибольшая средняя высота сеянцев под укрывным материалом с применением удобрения Культура KZ в концентрации 100 мл/10 л составила 9,4 см. При концентрации 50 мл/10 л высота растений была меньше (8,9 см), но все же лидировала в данном опыте. Все варианты превышали контроль по данному признаку в 2,0–2,4 раза.

В опыте с поливом семян после посева аналогичными предыдущему опыту ростовыми веществами, но без применения укрывного материала средняя высота растений составила 4,8 см. Можно выделить перспективное вещество для увеличения роста сеянцев – Триходерма, свойство которой раскрылось не только как фунгицида, но и как стимулятора роста. Высота сеянцев в данном варианте опыта составила 5,1 см.

Внесение сухих удобрений до посева семян положительно повлияло на интенсивность роста однолетних сеянцев. Следует отметить, что при летних учетах сеянцы на данном опыте имели самый маленький рост, за вегетационный период они достаточно быстро росли и достигли средней высоты 4,9 см. Среднее число растений на учетном ряду составило 102,4 шт. Грунтовая всхожесть на опыте была наименьшей – 28,1 %.

Варианты опытов достоверно различались между собой и с контролем по высоте растений ($t = 1{,}987 > t_{факт.}$).

Наибольшую длину корней имели сеянцы в варианте опыта с поливом почвы ЭридГроу (15,3 см), поливом почвы Гуматофосфатом (15,7 см) и с предпосевной обработкой семян в Гуматофосфате и Трихоцине (14,7 см). Длина стволика была самой большой в вариантах с поливом почвы ЭридГроу (7,0 см), Триходермой (6,6 см), Культурой KZ (5,4 см) и укрытием Агротексом (табл. 2). Следует отметить, что значение высоты стволика было ниже его длины по причине меньшего числа замеров выкопанных сеянцев, кроме того, для опыта были взяты средние по высоте экземпляры.

Масса корней однолетних сеянцев сосны обыкновенной изменялась от 0,03 до 0,13 г (полив почвы ростовыми веществами и укрывание Агротексом), стволика – от 0,05 (контроль) до 0,16 г (замачивание семян в Гуматофосфате + Трихоцин и поливе почвы ЭридГроу). Все варианты опыта превышали по массе стволиков контрольные сеянцы. По массе растений не прослеживалось какой-либо системы – сеянцы, имеющие наибольшую массу корней, отставали от других вариантов по массе стволиков и не отличались большими размерами подземной и надземной части.

Таблица 2

**Количественные показатели однолетних сеянцев сосны обыкновенной в ГЛПР «Ертыс орманы»**

| Наименование стимуляторов, ростовых веществ | Время замачивания, ч | Сокращен. название опыта | Высота, см | Длина, см | | | | | Средняя масса одного растения, г | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | корней | | стволика | | Отношение корней к стволу* | корней | стволика |
| | | | | X±m | V,% | X±m | V,% | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Предпосевная обработка семян стимуляторами | | | | | | | | | | |
| Байкал | 1,5 | Б 1,5 ч. | 3,8±0,09 | 10,6±0,3 | 13,1 | 3,6±0,2 | 24,1 | 2,9 | 0,06±0,01 | 0,10±0,01 |
| Байкал | 1 | Б 1,0 ч. | 4,0±0,08 | 9,7±0,4 | 20,1 | 3,8±0,2 | 30,1 | 2,6 | 0,04±0,01 | 0,10±0,01 |
| Гумат+7 | 6 | Г+7 6 ч. | 4,4±0,08 | 11,7±0,5 | 19,2 | 4,1±0,2 | 21,1 | 2,9 | 0,06±0,03 | 0,12±0,01 |
| Гумат+7 | 12 | Г+7 12 ч. | 4,9±0,11 | 11,8±0,3 | 10,9 | 3,9±0,2 | 23,3 | 3,0 | 0,03±0,01 | 0,09±0,01 |
| Циркон | 3 | Ц 3 ч. | 4,7±0,09 | 11,7±0,4 | 13,9 | 4,0±0,2 | 26,2 | 2,9 | 0,05±0,01 | 0,08±0,01 |
| Циркон | 6 | Ц 6 ч. | 4,9±0,10 | 11,2±0,5 | 18,3 | 3,9±0,1 | 13,4 | 2,9 | 0,03±0,02 | 0,06±0,01 |
| Гуматофосфат | 12 | Гф 12 ч. | 4,1±0,09 | 11,4±0,3 | 12,6 | 3,3±0,2 | 24,9 | 3,5 | 0,05±0,01 | 0,07±0,01 |
| Среднее по опыту | – | – | 4,4 | 11,2 | – | 3,8 | – | – | 0,05 | 0,09 |
| Контроль | – | К | 3,9±0,09 | 10,8±0,5 | 22,2 | 3,4±0,3 | 41,9 | 3,2 | 0,04±0,01 | 0,05±0,02 |
| Предпосевная обработка семян стимуляторами и Трихоцином | | | | | | | | | | |
| Байкал + Трихоцин | 1,5+2 | Б+Тр 1,5+2 ч. | 3,8±0,13 | 11,9±0,5 | 18,5 | 3,8±0,2 | 21,3 | 3,1 | 0,06±0,01 | 0,08±0,01 |
| Байкал + Трихоцин | 1+2 | Б+Тр 1+2 ч. | 5,1±0,15 | 13,0±0,4 | 13,8 | 3,9±0,1 | 15,9 | 3,3 | 0,04±0,01 | 0,09±0,01 |
| Гумат+7 + Трихоцин | 6+2 | Ц+Тр 3+2 ч. | 4,7±0,09 | 13,6±0,5 | 16,8 | 4,7±0,2 | 20,9 | 3,1 | 0,04±0,01 | 0,08±0,01 |
| Гумат+7 + Трихоцин | 12+2 | Ц+Тр 6+2 ч. | 5,6±0,21 | 12,8±0,5 | 19,2 | 4,0±0,2 | 16,2 | 3,5 | 0,05±0,02 | 0,07±0,01 |
| Циркон + Трихоцин | 3+2 | Г+7+Тр 6+2 ч. | 5,1±0,12 | 14,4±0,3 | 7,6 | 4,8±0,3 | 23,9 | 2,8 | 0,04±0,01 | 0,06±0,01 |
| Циркон + Трихоцин | 6+2 | Г+7+Тр12+2 ч. | 5,1±0,16 | 14,1±0,2 | 6,7 | 5,3±0,2 | 20,5 | 2,4 | 0,06±0,01 | 0,11±0,01 |
| Гуматофосфат + Трихоцин | 12+2 | Гф+Тр 12+2 ч. | 5,0±0,12 | 14,7±0,5 | 14,7 | 4,9±0,2 | 20,1 | 3,0 | 0,07±0,01 | 0,16±0,01 |
| Среднее по опыту | – | – | 4,9 | 13,5 | – | 4,5 | – | – | 0,06 | 0,09 |
| Контроль + Трихоцин | 2 | К+Тр | 4,4±0,1 | 12,1±0,4 | 13,3 | 2,9±0,2 | 25,1 | 4,2 | 0,03±0,01 | 0,05±0,01 |
| Полив почвы в коробах под Агротексом | | | | | | | | | | |
| Культура KZ 100 мл | | KZ кр 1,0 П+Аг | 9,4±0,25 | 10,4±0,5 | 21,8 | 5,4±0,2 | 17,1 | 1,9 | 0,05±0,01 | 0,12±0,01 |

*Продолжение табл. 2*

| Наименование стимуляторов, ростовых веществ | Время замачивания, ч | Сокращен. название опыта | Высота, см | Длина, см | | | | | Средняя масса одного растения, г | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | корней | | стволика | | Отношение корней к стволу* | корней | стволика |
| | | | | X±m | V,% | X±m | V,% | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Культура KZ 50 мл | | KZ кр 0,5 П+Аг | 8,9±0,16 | 9,4±0,4 | 21,0 | 4,9±0,2 | 14,3 | 1,9 | 0,04±0,01 | 0,10±0,01 |
| Гуматофосфат | | Гф П+Аг | 7,2±0,24 | 12,4±0,5 | 17,1 | 5,2±0,2 | 13,3 | 2,4 | 0,06±0,02 | 0,10±0,01 |
| Трихоцин | | Тр П+Аг | 7,0±0,16 | 12,5±0,5 | 18,9 | 4,8±0,2 | 22,4 | 2,6 | 0,13±0,01 | 0,11±0,02 |
| Триходерма | | Тр-ма П+Аг | 7,9±0,18 | 13,0±0,5 | 15,6 | 6,6±0,3 | 22,1 | 2,0 | 0,05±0,01 | 0,14±0,02 |
| ЭридГроу | | ЭГр П+Аг | 8,3±0,24 | 13,7±0,5 | 23,0 | 7,0±0,2 | 14,6 | 2,0 | 0,05±0,01 | 0,16±0,01 |
| Среднее по опыту | | – | 8,2 | 11,9 | – | 5,6 | – | – | 0,06 | 0,12 |
| Полив почвы | | | | | | | | | | |
| Культура KZ 100 мл | | KZ кр 1,0 П | 4,1±0,12 | 14,2±0,5 | 15,3 | 4,4±0,1 | 12,7 | 3,2 | 0,09±0,01 | 0,10±0,01 |
| Культура KZ 50 мл | | KZ кр 1,0 П | 3,7±0,09 | 14,1±0,5 | 14,1 | 5,4±0,2 | 15,3 | 2,6 | 0,03±0,01 | 0,06±0,01 |
| Гуматофосфат | | Гф П | 3,4±0,05 | 15,7±0,4 | 11,1 | 4,1±0,1 | 11,8 | 3,8 | 0,08±0,02 | 0,07±0,01 |
| Трихоцин | | Тр П | 4,1±0,1 | 14,0±0,4 | 12,3 | 3,5±0,2 | 23,1 | 4,0 | 0,06±0,01 | 0,06±0,01 |
| Триходерма | | Трма П | 5,1±0,14 | 14,0±0,6 | 19,8 | 3,7±0,1 | 16,4 | 3,8 | 0,06±0,01 | 0,06±0,01 |
| ЭридГроу | | Эгр П | 4,6±0,11 | 15,3±0,5 | 14,1 | 3,4±0,1 | 20,1 | 4,5 | 0,05±0,01 | 0,07±0,01 |
| среднее по опыту | | – | 4,2 | 14,6 | – | 4,1 | – | – | 0,06 | 0,07 |
| Внесение ростовых веществ в почву до посева семян | | | | | | | | | | |
| Грунт KZ | | KZ Гр. Вн | 5,0±0,15 | 14,2±0,4 | 12,4 | 4,1±0,2 | 19,1 | 3,5 | 0,09±0,02 | 0,07±0,01 |
| Грунт KZ NPK | | KZ (NPK) Вн | 4,3±0,13 | 11,4±0,2 | 9,3 | 4,6±0,2 | 16,9 | 2,5 | 0,04±0,01 | 0,07±0,01 |
| Агроперлит | | Апр Вн | 4,8±0,16 | 13,2±0,3 | 8,4 | 5,3±0,2 | 14,8 | 2,5 | 0,04±0,01 | 0,07±0,01 |
| Азот | | Аз Вн | 5,5±0,21 | 14,5±0,3 | 7,9 | 4,7±0,2 | 21,9 | 3,1 | 0,05±0,01 | 0,09±0,01 |
| Фосфор | | Фр Вн | 5,0±0,14 | 12,6±0,5 | 16,4 | 2,8±0,2 | 26,5 | 4,5 | 0,05±0,01 | 0,08±0,01 |
| Среднее по опыту | | – | 4,9 | 13,2 | – | 4,3 | – | – | 0,05 | 0,08 |

Примечание* – превышение значения длины корней над длиной стволика.

Опыты по поливу почвы ростовыми веществами лидировали по протяженности подземной части (без применения Агротекса) и надземной части (с Агротексом). Также большими размерами сеянцев отличались опыты с предпосевной обработкой семян в стимуляторах и внесением сухих ростовых веществ (рис. 1). Превышение средней длины корней над средней длиной стволиков, по опытам, изменялось от 2,4 до 3,5 раза в опытах с замачиванием семян в одних стимуляторах и дополнительно Трихоцине, от 1,9 до 2,6 раза в опыте с поливом почвы ростовыми веществами и Агротексом и от 2,5 до 4,5 раза в опытах с поливом и внесением в почву ростовых веществ.

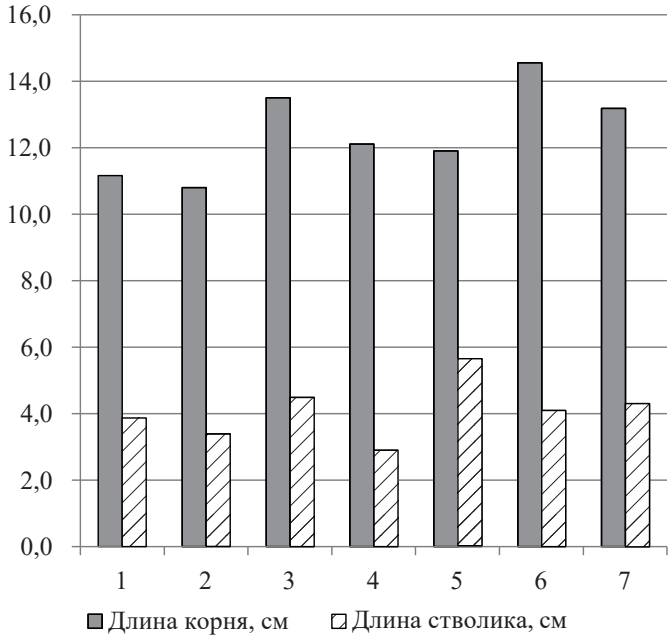



Рис. 1. Протяженность надземной и подземной части однолетних сеянцев сосны обыкновенной по опытам: *1* – замачивание семян в стимуляторах; *2* – контроль; *3* – замачивание семян в стимуляторах и Трихоцине; *4* – контроль + Трихоцин; *5* – полив почвы ростовыми веществами под Агротексом; *6* – полив почвы ростовыми веществами; *7* – внесение сухих веществ в почву до посева семян

Fig. 1. Length of the aerial and subterranean parts of the one-year-old *Pinus sylvestris* L. seedlings. Denotation of tests: *1* – steeping of the seeds in the growth additives; *2* – control; *3* – steeping of the seeds in the growth additives + Trikhotsin; *4* – control + Trikhotsin; *5* – soil irrigation using the growth additives and the Agrotex cover; *6* – growth additives soil irrigation; *7* – dry substances soil application prior to sowing

В ходе исследований получен большой комплекс данных по росту сеянцев, поэтому для его систематизации был проведен кластерный анализ. Сокращенные названия вариантов опыта приведены в табл. 2. Исходя из визуального представления результатов кластеризации всех количественных показателей роста однолетних сеянцев определено, что варианты опытов образуют 4 кластера (рис. 2).

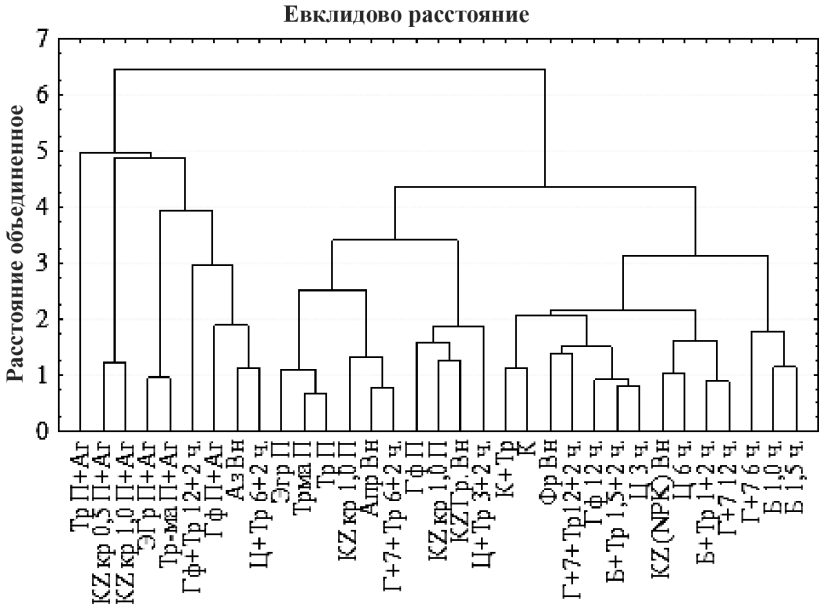



Рис. 2. Дендрограмма количественных показателей роста однолетних сеянцев сосны обыкновенной

Fig. 2. Dendrogram of quantitative growth indicators of annual seedlings of *Pinus sylvestris* L.

Методом *К-средних* были рассчитаны средние показатели для каждого кластера и дисперсионный анализ (табл. 3), который показал, что значимость различий между кластерами достоверна ($p < 0,05$). В первый кластер вошли варианты опыта, имеющие наибольшие значения по высоте сеянцев, – все варианты опыта по поливу почвы и укрыванию Агротексом, причем вариант с применением ЭридГроу и Триходермой занимали соответственно первый и третий ранг согласно ранговому анализу. Также можно отметить варианты опытов в третьем кластере, которые отставали по высоте, но имели достаточно высокие показатели по другим признакам. В данный кластер вошли варианты опыта с замачиванием семян в Гуматофосфате + Трихоцин (12 + 2 ч) и Цирконе + Трихоцин (6 + 2 ч), которые занимали соответственно второй и четвертый ранг по ранговому анализу.

Таблица 3

**Средние показатели роста однолетних сеянцев сосны обыкновенной по кластерам**

| Номер кластера | Средние показатели | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Высота | Длина, см | | Масса, г | |
| | | корня | стволика | корня | стволика |
| 1 | 8,34 | 11,78 | 5,82 | 0,05 | 0,12 |
| 2 | 4,66 | 14,16 | 4,36 | 0,05 | 0,07 |
| 3 | 5,24 | 13,94 | 4,70 | 0,09 | 0,11 |
| 4 | 4,41 | 11,53 | 3,69 | 0,04 | 0,08 |

*Заключение*

Изучение роста однолетних сеянцев сосны обыкновенной, выращенных с применением ростовых веществ и укрывного материала, выявило перспективные варианты для увеличения количественных показателей растений. Одним из рекомендуемых вариантов является предпосевная обработка семян сосны обыкновенной Цирконом (6 ч) и Гуматофосфатом (12 ч) совместно с Трихоцином (2 ч). Но применение только предпосевной обработки семян с замачиванием их в стимуляторах не является единственным способом усиления роста сеянцев, важно также повышение плодородия почвы. По комплексу изученных количественных показателей однолетних сеянцев установлено, что для условий Павлодарской области рациональным способом выращивания посадочного материала является полив почвы ЭридГроу, Триходермой и Трихоцином с последующим укрыванием посевов Агротексом. Установлено, что применение биологических фунгицидов положительно повлияло на интенсивность роста растений. Особо следует отметить, что сеянцы, росшие под укрывным материалом, имели наибольшие показатели надземной и подземной части растения по всем вариантам опыта по сравнению со всеми другими опытами. В дальнейшем предполагается проведение опытов по интенсивному выращиванию сеянцев сосны обыкновенной путем совместного применения стимуляторов при предпосевной обработке семян и удобрений, способствующих повышению плодородия почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1998. 27 с. [*GOST 13056.6-97. Seeds of Trees and Shrubs. Method for Determination of Germination.* Moscow, Standards Publ., 1998. 27 p.].

2. *Данченко А.М., Данченко М.А., Кабанова С.А., Муканов Б.М*. Лесные культуры: учеб. пособие. М.: Юрайт, 2018. 235 с. [Danchenko A.M., Danchenko M.A., Kabanova S.A., Mukanov B.M. *Forest Plantations:* Study Guide. Moscow, Yurait Publ., 2018. 235 p.].

3. *Жигунов А.В., Степанов В.М*. Применение укрывных материалов для выращивания сеянцев древесных пород //Лесн. хоз-во. 2007. № 1. С. 28–29. [Zhigunov A.V., Stepanov V.M. Application of Covering Materials for Growing of the Tree Species Seedlings. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2007, no.1, pp. 28–29].

4. *Кабанова С.А., Данченко А.М., Данченко М.А*. Влияние стимуляторов на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в Северном Казахстане // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 88–92. [Kabanova S.A., Danchenko A.M., Danchenko M.A. The Effect of Stimulants on the Germination of Seeds and Growth of Seedlings of Scots Pine in North Kazakhstan. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2016, no. 8, pp. 88–92].

5. *Кабанова С.А., Данченко М.А., Борцов В.А., Кочегаров И.С*. Результаты предпосевной обработки семян сосны обыкновенной стимуляторами роста // Лесотехн. журн. 2017. Т. 7, № 2(26). С. 75– 83. [Kabanova S.A., Danchenko M.A., Borcov V.A., Kochegarov I.S. The results of Pre-treatment of the Scots Pine Seeds with Growth Stimulants. *Lesotekhnicheskiy Zhurnal* [Forest Engineering Journal, 2017, vol. 7, no. 2(26), pp. P. 75–83].

6. *Копытков В.В., Коновалов В.Н.* Лесоводственная эффективность применения коровых компостов при выращивании сеянцев хвойных пород //Вестн. Северного (Аркт.) федер. ун-та. 2015. № 2. С. 56–62. [Kopytkov V.V., Konovalov V.N. Silvicultural

Efficiency of Crustal Composts in Case of the Conifer Seedlings Growing. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo Universiteta* [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University], 2015, no. 2, pp. 56–62].

7. *Петросян А., Баженова Я., Хренкова А., Антошина О.А.* Влияние биопрепаратов на посевные качества семян сосны обыкновенной // Вестн. Совета молодых ученых Рязанского гос. агротехнол. ун-та им. П.А. Костычева. 2018. № 1(6). С. 40–44. [Petrosjan A., Bazhenova Ja., Hrenkova A., Antoshina O.A. Influence of Biological Products on the Sowing Qualities of Seeds of Scots Pine (*Pinus Sylvestris L.) Vestnik soveta molodyh uchenykh Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*, 2018, no.1(6), pp. 40–44].

8. *Проказин Н.Е., Лобанова Е.Н. и др*. Выращивание посадочного материала хвойных пород с использованием ростовых стимуляторов // Лесохозяйств. информация. 2015. № 1. С. 50–55. [Prokazin N.E., Lobanova E.N. et al. Growing Planting Material of Conifers Using Growth Stimulants. *Lesnoe Khozyaystvo* [Forestry], 2015, no.1, pp. 50–55].

9. *Расули Г.С., Савенкова И.В*. Влияние биорегулятора «Гумостима» на посевные качества семян, рост и развитие сеянцев древесных пород // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2013. № 6. Режим доступа: http://agro.snauka.ru/2013/06/1101 (дата обращения: 23.09.2018). [Rasuli G.S., Savenkova I.V. The Influence of the Bioregulator "Gumostim" on Sowing Qualities of Seeds, Growth and Development of Seedlings of Tree Species. *Selskoye, lesnoye i vodnoye khozyaystvo,* 2013, no. 6].

10. *Смирнов Н.А.* Методическое руководство проведения опытных работ по выращиванию сеянцев в питомниках и лесных культур на вырубках. Пушкино: ВНИИЛМ, 2000. 42 с. [Smirnov N.A. *Methodical Guide Conducting Experimental Work on the Cultivation of Seedlings in Nurseries and Forest Crops on Cutting*: Manual for Field Trials. Pushkino, VNIILM Publ., 2000. 42 p.].

11. *Якимов Н.И., Крук Н.К., Юреня А.В*. Особенности агротехники выращивания сеянцев березы повислой в лесных питомниках //Труды БГТУ. 2013. № 1. С. 196–199. [Yakimov N.I. Kruk N.K., Yurenya A.V. Features of Agricultural Cultivation of Birch Seedlings Hanging in Forest Nurseries. *Trudy BGTU*, 2013, no. 1, pp. 196–199].

12. Aphalo P.J., Rikala R., Sanchez R.A. Effect of CCC on the Morphology and Growth Potential of Containerised Silver Birch Seedlings. *New Forests,* 1997, vol. 14, no. 3, pp. 167–177.

13. Aglar E., Yildiz K., Ozkan Y., Ozturk B., Erdem H. (2016). The Effects of Aminoethoxyvinylglycine and Foliar Zinc Treatments on Pre-harvest Drops and Fruit Quality Attributes of Jersey Mac Apples. *Sci.Hortic.*, 2016, vol. 213, pp. 173–178.

14. Brown K.R., Driessche R.V.D. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on the Growth and Nutrition of Hybrid Poplars on Vancouver Island. *New Forests*, 2005, vol. 29, pp. 89–104.

15. Canellas L.P., Olivares F.L., Aguiar N.O., Jones D.L., Nebbioso A., Mazzei P., et al. Humic and Fulvic Acids as Biostimulants in Horticulture. *Sci. Hortic*., 2015, vol.196, pp. 15–27.

16. Colla G., Hoagland L., Ruzzi M., Cardarelli M., Bonini P., Canaguier R. et al. Biostimulant Action of Protein Hydrolysates: Unraveling Their Effects on Plant Physiology and Microbiome. *Front. Plant Sci*., 2017, vol. 8:2202. 10.3389.

17. De Pascale S., Rouphael Y., Colla G. Plant Biostimulants: Innovative Tool for Enhancing Plant Nutrition in Organic Farming. *Eur. J. Hortic. Sci.,* 2017, vol. 82, pp. 277–285.

18. DeHayes D.H., Ingle M.A. Waite C.E. Nitrogen Fertilization Enhances Cold Tolerance of Red Spruce Seedlings. *Can. Journ. For. Res*., 1999, pp. 1037–1043.

19. Höflich, G., B.Munzenberger and J. Busse., Importance of Inoculated Rhizosphere Bacteria and Ectomycorrhizal Fungi on Growth of Pine Seedlings in Different Soils. *Forstw. Cbl.,* 2001, vol.120, pp. 68–79.

20. Kabanova S.A., Zenkova Z.N., Danchenko M.A. Regional Risks of Artificial Forestation in the Steppe Zone of Kazakhstan (Case Study of the Green Belt of Astana). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 211, pp. 012055-1–012055-9.

21. Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A.T., Craigie J.S., Norrie J., Prithiviraj B. (2009): Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, vol. 28, pp. 386–399.

22. Weih M. Delayed Growth Response of Mountain Birch Seedlings to a Decrease in Fertilization and Temperature. *Functional Ecology,* 2000, vol.14, issue 5, pp. 566–572.

## THE EXPERIENCE OF INTENSIVE CULTIVATION OF ONE-YEAR-OLD SEEDLINGS OF PINUS SYLVESTRIS L. IN PAVLODAR REGION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN*

***S.A. Kabanova***[1, 2]*, Candidate of Biology; ResearcherID: T-1032-2019, ORCID: 0000-0002-3117-7381*
***M.A. Danchenko***[3]*, Candidate of Geography, Assoc. Prof.; ResearcherID G-8315-2014, ORCID: 0000-0002-5974-9556*
***I.S. Kochegarov***[1]*, Junior Research Scientist; ORCID: 0000-0003-1185-5218*
***A.N. Kabanov***[1]*, Research Scientist; ORCID: 0000-0002-5479-3689*
[1]Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, ul. Kirova, 58, Shchuchinsk. Akmolinsk Region, 021704, Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru, Garik_0188@mail.ru, anrabn@mail.ru
[2]Kazakh Agrotechnical University named after S.Seyfullin, prosp. Zhenis, 62, Astana, 010011, Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru
[3]National Research Tomsk State University, Biological Institute, prosp. Lenina, 36, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com

The studies were conducted in State Forest Natural Reserve “Ertis Ormany” in Pavlodar region by the example of one-year-old seedlings of *Pinus sylvestris* L. The experiments were laid out by pre-sowing preparation of the seeds with the use of stimulants Baikal, Humate+7, Zircon and fungicide Trichocyne as well as by adding of the growth substances (Agroperlite, AridGrow, KZ Culture and KZ Soil, Humate Phosphate, Trichocin, Trichoderma, Nitrogen and Phosphorus) into soil before and after sowing of the seeds. The average value of laboratory viability in experiment on soaking of the seeds in stimulants exceeded control for 5 %, in experiment on combined use of stimulants and fungicide – for 3.5 %. From all the performed experiments, the biggest average height (8.1 cm) was at seedlings in experiment under watering of the soil by growth substances after sowing of the seeds and at the use of covering material “Agrotex”. What is more, some specimens on the first year of life reached the height of 13 cm that corresponds to the indices of standard planting material. All the variants of the experiment exceeded control on height in 2.0–2.4 times. Seedlings in the analogous experiment by watering of the soil by growth substances, but without covering of the crops considerably lagged in growth and the average height was 4.8 cm. Application of dry fertilizers before sowing of the seeds positively influenced the intensity of growth of one-year-old seedlings which reached the average height of 4.9 cm. By complex of studied qualitative indices of growth of one-year-old seedlings it was determined

*The article is published within the framework of implementation of the scientific journals development program in 2019.

that the rational way of growing the planting material for conditions of Pavlodar region is watering of the soil by “AridGrow”, Trichoderma and Trichocyne with the subsequent covering of the crops by “Agrotex”. Application of biological fungicides positively influenced the intensity of growth of the plants. It should be marked that the seedlings which grew under the covering material had the largest indices of overground and underground parts of the plants in comparison with all the other experiments. Besides, the pre-sowing processing of the seeds of Pinus sylvestris L. by Zircon (6 hours) and Humatophosphate (12 hours) in combination with Trichocyne (2 hours) is recommended.

***For citation:***. Kabanova S.A, Danchenko M.A., Kochegarov I.S.,. Kabanov A.H. The Experience of Intensive Cultivation of One-year-old Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in Pavlodar Region of the Republic of Kazakhstan. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 104–117. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.104

*Keywords:* Agrotex, Trichocyne, Trichoderma, AridGrow, seedlings, *Pinus Sylvestris* L., stimulant, fungicide, Humate.

Поступила 04.04.19 / Received on April 4, 2019

УДК 630*22
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.118

# ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ФИТОГЕННЫХ ПИЩЕВЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЛЕСА НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ*

***С.С. Макаров*[1]*, аспирант, ст. науч. сотр.;*** *ORCID: 0000-0003-0564-8888*
***Е.С. Багаев*[1]*, канд. с.-х. наук, и. о. заместителя директора по научной работе;***
*ORCID: 0000-0001-6527-4748*
***С.Ю. Цареградская*[2]*, канд. с.-х. наук, ученый секретарь***
***И.Б. Кузнецова*[3]*, канд. с.-х. наук, доц.***
[1] Центрально-европейская лесная опытная станция, просп. Мира, д. 134, г. Кострома, Россия, 156013; e-mail: makarov_serg44@mail.ru, ce-los-lh@mail.ru
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д.15, г. Пушкино, Московская обл., Россия, 141202; e-mail: tsaregradskaya@vniilm.ru
[3] Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваевская с\а, д. 34, пос. Караваево, Костромская обл., Россия, 156530; e-mail: sonnereiser@yandex.ru

В статье приведены результаты исследований по оценке потенциала фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области. Авторы отмечают, что леса области располагают большими запасами этих ресурсов, однако уровень их использования остается низким – в среднем по области 10 %. Заготовка пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений как вид предпринимательской деятельности не практикуется, аренда лесных участков для этих целей отсутствует. При этом доля недревесной продукции леса составляет свыше 10 % общей стоимости всей лесной продукции и в ряде случаев превышает стоимость древесины. Приведено районирование пищевых и лекарственных растений на территории Костромской области по наибольшим биологическим запасам ресурсов. Выделены потенциальные центры промышленной заготовки и переработки пищевых и лекарственных ресурсов. Дано ресурсное, технологическое и экономическое обоснование организации заготовки и переработки пищевых и лекарственных ресурсов на промышленной основе. Особое внимание должно быть направлено на организацию и интенсификацию выращивания лесных плодовых, ягодных, декоративных и лекарственных растений, разработку технологии и агротехники плантационного выращивания ягодных культур, выведение новых высокопродуктивных сортов.
***Для цитирования:*** Макаров С.С., Багаев Е.С., Цареградская С.Ю., Кузнецова И.Б. Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 118–131. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.118

*Ключевые слова:* лесопользование, недревесные ресурсы леса, плодово-ягодные растения, грибы, лекарственное сырье, заготовка, переработка.

*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2019 г.

*Введение*

Костромская область относится к таежной зоне лесов, южно-таежному лесному району европейской части России [16], является одним из самых лесообеспеченных регионов Центрального федерального округа РФ. Общая площадь земель лесного фонда составляет 4,6 млн га, лесистость – более 74 %. В настоящее время основным видом использования лесов является заготовка древесины – для этой цели передано в аренду 95 % от общей площади переданных в пользование лесов. Для использования недревесных ресурсов леса переданы в пользование всего 5 % площади лесных участков. В основном это ведение охотничьего и сельского хозяйства; строительство, реконструкция и эксплуатация линейных объектов; геологическое изучение недр, разработка месторождений полезных ископаемых; рекреационная деятельность.

Вместе с тем природно-ресурсный потенциал земель лесного фонда области позволяет осуществлять все виды использования лесов, предусмотренные действующим лесным законодательством РФ [11], и на основе этого – обеспечить многоцелевое и неистощительное лесопользование, являющееся приоритетным направлением развития лесного комплекса [5, 6, 12, 19–21].

Цель работы – дать оценку потенциала недревесных фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда, выявить проблемы его использования и воспроизводства.

Исследования проводились в 2017–2018 гг. на территории земель лесного фонда Костромской области. Производился анализ статистических данных по использованию лесов, регионального опыта использования лесов по отдельным видам, не связанным с заготовкой древесины. Потенциал недревесных фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса изучался по фондовым и ресурсоведческим материалам Центрально-европейской лесной опытной станции ВНИИЛМ (далее – Станция), по данным лесоустройства и с использованием материалов лесного планирования [12].

*Объекты и методы исследования*

Исследованиями охвачены все основные районы Костромской области. К числу положительных сторон лесного хозяйства области, создающих предпосылки для организации многоцелевого лесопользования, относятся: значительные запасы свободных лесных ресурсов; выгодное географическое расположение; емкий внутренний и внешний рынок недревесных ресурсов леса; наличие условий для развития новых производств с учетом низкой плотности населения и сравнительно невысокой стоимости земли; благоприятные почвенно-климатические условия; экологическая чистота региона, позволяющая высоко котироваться на рынках продуктам и препаратам, полученным из фитогенных ресурсов леса.

Доля недревесной продукции леса составляет свыше 10 % общей стоимости всей лесной продукции, а в некоторых случаях сопоставима со стоимостью древесины и превышает ее [10]. Фитогенные ресурсы занимают особое место в группе недревесных ресурсов леса. В результате исследований, проведенных Станцией, выявлены большие запасы плодово-ягодного, лекарственного сырья и грибов и дано ресурсное, технологическое и экономическое обоснование воз-

можности промышленной заготовки и переработки пищевых и лекарственных ресурсов.

Лесные плодово-ягодные съедобные растения – наиболее хозяйственно значимая подгруппа фитогенных ресурсов [15]. В лесах Костромской области встречается 24 вида растений, наибольшее распространение и хозяйственное значение из которых имеют 9 видов: брусника обыкновенная, клюква болотная, голубика топяная, земляника лесная, рябина обыкновенная, малина обыкновенная, черника обыкновенная, калина обыкновенная и шиповник майский. Урожайность дикорастущих ягодников семейства брусничных достигает 500–600 кг/га, составляя в среднем 200–250 кг/га. В среднеурожайные годы запасы плодов и ягод составляют: черники – 6800 т, брусники – 1300 т, клюквы – 1100 т, голубики – 250 т, малины – 1250 т, рябины – 1600 т. Уровень использования имеющихся ресурсов дикорастущих плодов и ягод в среднем составляет около 10 %.

В лесах региона насчитывается более 90 видов медоносных растений, из которых к числу наиболее продуктивных относятся: вереск обыкновенный, кипрей узколистный, липа мелколистная, отдельные виды ив с медопродуктивностью 200…1000 кг/га.

Также в лесах встречается до 45 видов овощных растений, которые используются в составе салатов, супов, вторых блюд. Кислица обыкновенная, сныть обыкновенная, орляк обыкновенный образуют промысловые заросли и могли бы успешно стать заменителями культурных растений. Огромные запасы сырья растений данной подгруппы в лесах не достаточно оценены. Урожайность молодых листьев орляка достигает 2 т/га.

В лесах Костромской области произрастает около 60 видов пряно-вкусовых и пряно-ароматических растений, отвечающих всем требованиям, предъявляемым пищевой промышленностью. Более 30 из них (будра плющевидная, можжевельник обыкновенный, сныть и др.) образуют промысловые заросли. Выход пряного экстракта у данных растений колеблется в пределах 0,5…6,0 % от воздушно-сухой массы. Урожайность плодов можжевельника при хорошем плодоношении – 0,1 т/га.

До 40 видов лесных растений можно отнести к напиточным: вереск обыкновенный, гравилат городской, грушанка круглолистная, зверобой продырявленный, кипрей узколистный, все плодово-ягодные растения. Запасы сырья растений данной подгруппы велики, но остаются невостребованными. Общий эксплуатационный запас березового сока в Костромской области равен 7106,7 тыс. т [24]. Величина его ежегодной заготовки может составлять до 10 % от общего запаса.

В лесах области насчитывается 9 видов крахмалоносных растений: кубышка желтая, рогоз широколистный, горец змеиный и др. [15]. Из хлебных растений произрастает 22 вида, некоторые из которых (кладония и цетрария, орляк обыкновенный, толокнянка обыкновенная и др.) образуют промысловые заросли. Запасы сырья этих растений велики. Слоевища лишайников могут иметь урожайность до 1,5 т/га, а сырые корневища горца змеиного – 830 г/м$^2$.

В лесной флоре Костромской области имеется около 250 видов лекарственных растений. Основная их часть применяется только в гомеопатии (46 видов) и народной медицине (104 вида), а 100 видов используется в медицинской практике [9]. Промышленные заготовки можно вести по лекарственному

сырью 65 видов растений. Урожайность побегов багульника болотного составляет 405…1215 кг/га сырой массы, листьев вахты трехлистной – 1050 кг/га, толокнянки обыкновенной – 72…171 кг/га [15]. Запасы побегов черники обыкновенной и листьев брусники обыкновенной в лесах области достигают 7–8 тыс. т воздушно-сухого сырья. Объемы заготовок этих видов лекарственного сырья незначительны. Доля лекарственного сырья в общей надземной фитомассе у брусники колеблется в диапазоне 48…62 %, у черники – 38…54 %. Выход воздушно-сухой массы лекарственного сырья у брусники в среднем составляет 22 %, у черники – 14 %.

Съедобные грибы – отдельная группа пищевых ресурсов леса [15]. В области встречается более 80 видов лесных съедобных грибов, из них к наиболее распространенным и хозяйственно ценным относятся: белый гриб, подберезовик, подосиновик, груздь настоящий, масленок, волнушка розовая, рыжик и др. Ежегодные запасы съедобных видов грибов при среднем урожае составляют 32 тыс. т.

Запасы сырья лесных плодово-ягодных, лекарственных растений и съедобных грибов в Костромской области, установленные Станцией [15], приведены в табл. 1. Ресурсы ягод брусники, черники, голубики, клюквы и грибов выявлены в результате исследований, проведенных в 1991–1993 и 1997 гг. Запасы сырья остальных плодово-ягодных и большинства лекарственных растений в целом по области получены путем экстраполяции результатов ресурсоведческих работ, проведенных в 1990–1993 гг. в 11 районах области. Размер эксплуатационного урожая грибов, ягод и плодов принят равным 50 % от биологического. Объем возможных ежегодных заготовок сырья определен с учетом доступности территории, а по лекарственному сырью учитывалась продолжительность периода полного восстановления запасов сырья после заготовки. Объемы фактических заготовок сырья установлены по данным статистической отчетности с учетом заготовок грибов и ягод местным населением для личного потребления.

Из приведенных в таблице данных видно, что Костромская область располагает большими запасами фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса, особенно плодов и листьев брусники и черники, листьев вахты, побегов багульника и вереска.

Таблица 1

**Запасы сырья лесных плодово-ягодных, лекарственных растений и съедобных грибов в Костромской области**

| Группа и вид сырьевого растения | Вид сырья | Площадь промысловых зарослей, тыс. га | Эксплуатационный запас сырья, т | Объем возможных ежегодных заготовок, т | Современный уровень использования запасов, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **Дикорастущие плоды и ягоды** | | | | | |
| Сырая масса | | | | | |
| Брусника | плоды | 31,1 | 1161,0 | 929,0 | 34,0 |
| Голубика | плоды | 2,4 | 163,0 | 130,0 | 8,0 |
| Клюква | плоды | 18,2 | 833,0 | 686,0 | 60,0 |
| Черника | плоды | 113,4 | 3113,0 | 2490,0 | 12,0 |

*Окончание табл. 1*

| Группа и вид сырьевого растения | Вид сырья | Площадь промысловых зарослей, тыс. га | Эксплуатационный запас сырья, т | Объем возможных ежегодных заготовок, т | Современный уровень использования запасов, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Шиповник | плоды | 1,1 | 22,0 | 18,0 | 61,0 |
| Воздушно-сухая масса | | | | | |
| Калина | плоды | 1,1 | 5,3 | 4,2 | не используется |
| Костяника | плоды | – | десятки тонн | десятки тонн | |
| Малина | плоды | 13,8 | 157,0 | 126,0 | 8,0 |
| Рябина | плоды | 0,7 | 130,0 | 104,0 | 23,0 |
| Черемуха | плоды | 15,0 | 3,5 | 2,8 | не используется |
| **Лесные лекарственные растения** | | | | | |
| Воздушно-сухая масса | | | | | |
| Багульник | побеги | 14,0 | 975,0 | 106,0 | 1,0 |
| Брусника | листья | 31,9 | 5179,0 | 737,0 | 0,1 |
| Вахта | листья | 8,9 | 387,0 | 97,0 | не используется |
| Вереск | побеги | 13,0 | 3406,0 | 568,0 | |
| Земляника | листья | – | – | 6,0 | |
| | плоды | – | – | 12,0 | |
| Калина | кора | 1,1 | 9,0 | 0,4 | |
| | плоды | 1,1 | 53,0 | 26,0 | |
| Крушина | кора | – | – | 30,0 | 3,0 |
| Ландыш | трава | 6,6 | 251,0 | 42,0 | 0,2 |
| Можжевельник | плоды | 7,0 | 0,6 | 0,3 | не используется |
| Ольха | соплодия | 16,5 | 40,0 | 20,0 | 10,0 |
| Плаун | споры | 7,0 | 17,0 | 1,0 | 1,0 |
| Толокнянка | листья | 1,1 | 62,0 | 1,0 | не используется |
| Черника | побеги | 78,1 | 8428,0 | 1166,0 | |
| Чистотел | трава | 0,13 | 24,0 | 8,0 | 0,5 |
| Цетрария | слоевища | 4,5 | 500,0 | 20,0 | не используется |
| **Съедобные грибы** | | | | | |
| Сырая масса | | | | | |
| – | плодовые тела | 1389,0 | 28223,0 | 22563,0 | 7,0 |

Уровень современного использования этих природных ресурсов остается низким. Запасы плодов клюквы, шиповника и брусники используются в среднем на 30–60 %, плоды других видов растений – на 10–15 %. Уровень использования запасов лекарственного сырья выражается долями процента, многие его виды вообще не заготавливаются. Среднегодовые запасы съедобных грибов используются в области на 7 %.

Ресурсы недревесного сырья в лесах Костромской области в прошлый период оценивались разными авторами [1, 3, 8, 23]. Анализ динамики природных запасов пищевых и лекарственных ресурсов свидетельствует об их снижении

со временем. Сокращаются запасы ягод брусники, черники и клюквы, снижается качество грибных угодий: все реже встречаются угодья таких ценных видов, как белый гриб, груздь настоящий и рыжик. Вследствие нерегулируемого сбора лекарственного сырья вблизи населенных пунктов значительная часть видов лекарственных растений перешла в список охраняемых.

Основные причины снижения недревесных ресурсов – сплошные рубки, лесогидромелиорация, лесные пожары, проведение лесохозяйственных мероприятий без учета биологии плодово-ягодных и лекарственных растений.

Работа по охране ценных угодий сырьевых растений и грибов в области была начата в 1970 гг. [15]. Из гидромелиоративного фонда были исключены 88 болот общей площадью 76,1 тыс. га, многие из которых являются клюквенными. В 1990–1992 гг. Станцией проведены изыскания по выявлению наиболее ценных ягодных и грибных угодий. В 1993 г. данным угодьям (377 участков общей площадью 31,2 тыс. га) был придан статус ресурсных заказников. Пополнился список охраняемых клюквенных угодий, включающий 103 болотных массива общей площадью 82,3 тыс. га. В настоящее время в сеть особо охраняемых природных территорий области [22] включены 50 крупных водно-болотных угодий общей площадью около 200 тыс. га, которым присвоен статус государственного природного заказника.

По нашему мнению, необходимо продолжить работы по выявлению ресурсов сырья пищевых и лекарственных растений и охране особо ценных их угодий. По Костромской области, наиболее изученной в ресурсном отношении, можно судить о величине запасов сырья изучаемых растений и грибов в лесах южной тайги.

Проведенный анализ свидетельствует о низком уровне использования пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений, отсутствии аренды лесных участков для их заготовки [12]. Заготовка пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений как вид предпринимательской деятельности не практикуется.

Коммерческое использование лесов в целях заготовки и сбора недревесных лесных ресурсов при их значительных потенциальных объемах не является привлекательным для арендаторов и не находит развития в Костромской области. Основной причиной, сдерживающей развитие заготовки и сбора недревесных лесных ресурсов, является отсутствие перерабатывающих мощностей и дорожной инфраструктуры в лесах.

В области пищевые лесные ресурсы и лекарственные растения используются в основном для собственных нужд. Запасы их достаточны для удовлетворения потребностей населения. Основные заготовители дикорастущих плодов, ягод и грибов – жители районов и городов области. Сбором ягод занимается каждый седьмой сельский житель [7]. Население сельской местности ежегодно потребляет 6,5 кг дикорастущих и 1,8 кг культурных ягод, городские жители – 4,3 и 2,9 кг соответственно. Реализация ягод и грибов производится сборщиками на местных рынках, вдоль автомобильных трасс, внутри населенных пунктов. Порядок заготовки и сбора гражданами пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений регламентирован [18].

Наибольшее значение имеют клюква, брусника, черника, малина, грузди, белый гриб, подосиновик и волнушка и другие [12]. Уровень использования природных запасов плодов и ягод различается по видам растений и районам

области. Если по клюкве и бруснике сборы ягод в густонаселенных районах достигают 60–80 % от имеющихся ежегодных запасов, то по чернике – не более 10–12 %. Природные запасы съедобных грибов используются примерно на 15–20 %, причем жители области собирают не более 20–25 видов. Уровень использования природных богатств лекарственного сырья выражается долями процента. Многие виды лекарственных растений не заготавливаются. Выявлены районы с низкой обеспеченностью ресурсами дикорастущих ягодных растений (Буйский, Галичский, Костромской, Нерехтский, Судиславский и др.) и районы с освоением эксплуатационных запасов на 5…20 % (Макарьевский, Солигаличский, Шарьинский и др.) [17].

Экономическое обоснование инвестиционной привлекательности данного сектора экономики в сфере лесного хозяйства области дано А.Н. Большаковым [2]. Установлено, что от рационального размещения заготовительных и перерабатывающих предприятий на территории области напрямую зависит эффективность их работы.

Станцией выделено 4 основных центра сосредоточения эксплуатационных запасов дикорастущих ягод, грибов и лекарственных растений – города Макарьев, Нея, Солигалич и Шарья [15]. В них целесообразно разместить центральные заготовительные и перерабатывающие предприятия (далее – ЦЗП), обеспеченные оборудованием для переработки сырья и производства продуктов (экстрактов, варенья, джемов, маринованных грибов, чаев и др.). В г. Костроме создаются производства с более глубокой переработкой сырья и производством высококачественных продуктов и медицинских препаратов. В ЦЗП недревесная продукция может поступать из сельских заготовительных пунктов, размещаемых в наиболее перспективных по запасам сырья районах: в Макарьевский ЦЗП – из Кадыйского и Островского районов; в Нейский ЦЗП – из Кологривского, Парфеньевского, Мантуровского, Межевского районов; в Солигаличский ЦЗП – из Антроповского, Галичского, Солигаличского, Чухломского районов; в Шарьинский ЦЗП – из Вохомского, Октябрьского, Павинского, Поназыревского, Пыщугского районов. Станцией дано распределение эксплуатационных запасов дикорастущих ягод, грибов и лекарственного растительного сырья по ЦЗП. Имеющиеся ресурсы могут обеспечить их круглогодичную работу.

А.Н. Большаков предлагает следующее районирование области по тяготению сельских районов к межрайонным заготовительным предприятиям (далее – МЗП) [2]: Шарьинский МЗП (Вохомский, Октябрьский, Павинский, Поназыревский, Пыщугский, Шарьинский районы); Нейский МЗП (Антроповский, Кологривский, Мантуровский, Межевской, Нейский, Парфеньевский районы); Макарьевский МЗП (Кадыйский, Макарьевский, Островский районы); Чухломской МЗП (Галичский, Солигаличский, Чухломский районы); Костромской МЗП (Буйский, Костромской, Красносельский, Нерехтский, Сусанинский районы). О.И. Пантелеева рекомендует местоположения региональных дилерских центров в городах Кострома, Кологрив, Макарьев, Солигалич, Шарья и поселке Вохма [17]. Размещение стационарных приемных пунктов планируется в каждом районе.

По наличию лекарственного сырья в области выделяется 3 ресурсных района лекарственных растений [9]:

1. Южная часть Галичско-Чухломской возвышенности (Буйский, Галичский, Костромской, Красносельский, Нерехтский, Островский, Судиславский, Сусанинский районы). Это район произрастания основных ресурсов василька синего, горца, зверобоя, лапчатки прямостоячей, одуванчика, пижмы, подорожника, тысячелистника, фиалки трехцветной и полевой, хвоща полевого, череды трехраздельной, щавеля конского. Здесь отмечены заросли аира обыкновенного, девясила высокого, жостера слабительного, кровохлебки лекарственной. В лесах района значительны запасы сырья калины, липы, рябины, хмеля обыкновенного, черемухи.

2. Северная часть Галичско-Чухломской возвышенности, в южных отрогах Северных Увалов и верховьях р. Ветлуги (Вохомский, Кологривский, Межевской, Октябрьский, Павинский, Поназыревский, Пыщугский, Солигаличский, Чухломский, Шарьинский, районы). Это район произрастания основных ресурсов лиственницы, пихты, земляники, малины, черники, шиповника мужского, плаунов, чаги. В поймах рек имеются промысловые заросли крушины, калины, смородины, шиповника, валерианы, горца змеиного.

3. Унженская низменность (Антроповский, Кадыйский, Парфеньевский, Макарьевский, Мантуровский, Нейский районы). Это район произрастания основных ресурсов багульника, брусники, вахты, ландыша, можжевельника, толокнянки, цетрарии. В поймах рек Немды, Унжи и их притоков имеются промышленные заросли шиповника.

В области можно выделить 7 центров промышленной заготовки и переработки березового сока, которые намечены с учетом эксплуатационных запасов березового сока и с условием его подвозки к перерабатывающему предприятию не далее 150 км [24]. Наибольшие по запасам центры – города Кологрив, Солигалич и поселок Вохма. Здесь ежегодно можно добывать до 410 тыс. т березового сока. Центры можно ориентировать на разные способы первичной переработки березового сока. Например, на консервацию березового сока – в городе Буе, так как он расположен на железной дороге, а в поселке Вохма – на получение сиропа, чтобы уменьшить затраты на перевозку готового продукта до потребителя.

Экономические показатели работы заготовительных предприятий приемлемы для предпринимательской деятельности, причем экономическую эффективность можно существенно повысить за счет полной годовой загрузки предприятий [15]. Эффективной является работа заготовительных предприятий, перерабатывающих сырье непосредственно у пунктов сбора. При этом срок окупаемости оборудования составляет 9 месяцев.

В настоящее время промышленная заготовка пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений на территории Костромской области не ведется. Заготовка ведется прежде всего сельским населением для собственных нужд. Ранее основной заготовительной организацией была потребительская кооперация, которая имела развитую заготовительную сеть, охватывающую более 170 приемных пунктов во всех районах, и осуществляла встречную продажу населению дефицитных товаров. Если в 1990–1992 гг. объемы закупок составляли 250–300 т, то уже в 1995–1996 гг. организованная заготовка ягод не велась, а большая часть заготовленной продукции поставлялась из других регионов. На протяжении многих лет заготовкой недревесных ресурсов леса занимались федеральные лесхозы.

Заготовку пищевых ресурсов леса осуществляют 2 предприятия – «БВД – Фригус» (г. Кострома) и «Цонти» (г. Солигалич), производственная деятельность которых основывается на закупке дикорастущих ягод и грибов у населения и продаже их в замороженном и в переработанном виде [2, 10]. При этом объем закупаемой продукции зависит от случайного сборщика, в связи с чем набрать необходимый для круглогодичного производства объем сырья в пределах одного района не удается и приходится закупать его в других районах области. Существует необходимость перехода к организованному сбору недревесного сырья. Потребителями плодов ягодных культур являются ликеро-водочный завод, предприятия общественного питания и санаторно-курортной системы с ежегодным суммарным потреблением до 10 т клюквы и брусники. Основная же доля спроса на дикорастущие ягоды приходится на зарубежных потребителей, представленных оптовыми посредниками перерабатывающих предприятий. Также наряду с этими предприятиями в области работает большое число закупщиков ягод и грибов из других регионов.

Оптимальным для Костромской области является создание открытого акционерного общества, в качестве учредителей которого потенциально могут выступить органы муниципального управления, заготовительные и перерабатывающие предприятия, отдельные юридические и физические лица [2].

Номенклатура заготовляемого лекарственного сырья достигает 45 видов, а объем заготовок варьирует в пределах 30…100 т. Спрос на многие виды лекарственного растительного сырья не удовлетворяется по причине отсутствия материально-технической базы. Заготовка лекарственных растений осуществляется в области аптечной сетью, ранее она проводилась также потребкооперацией и лесхозами [9].

Вопросы интенсификации многоцелевого использования лесов отражены в документах лесного планирования Костромской области. По данным Лесного плана Костромской области [12], выращивание лесных плодовых, ягодных, декоративных и лекарственных растений является одним из перспективных видов использования лесов в регионе.

Возможные объемы заготовки основных пищевых продуктов леса приведены в лесохозяйственных регламентах лесничеств на основе данных лесоустройства, при этом используется методика, разработанная Станцией [14]. В Лесном плане Костромской области дано лесоэкономическое районирование области [12]. В зоне планируемого освоения лесов для заготовки древесины могут осуществляться другие виды использования лесов, сопряженные с заготовкой древесины, в том числе заготовка пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений. Принципам многоцелевого использовании лесов наиболее соответствуют выборочные рубки.

Важной мерой сохранения фитогенных пищевых ресурсов леса и активизации их заготовки является организация выращивания лесных плодовых, ягодных, декоративных и лекарственных растений. Для этой цели в Костромской области предоставлены в аренду лесные участки на общей площади около 295 га (4 договора). Наиболее крупный арендатор лесного участка – ООО «Кремь» на территории Костромского лесничества. На общей площади свыше 100 га предприятие возделывает ягодные культуры: клюкву, бруснику, голубику, княженику. Данный вид использования лесов за 10 лет осуществлен на площади 1402,14 га – 133,6 % от запланированного Лесным планом Костром-

ской области на 2009–2018 гг., что объясняется расширением предприятия ООО «Кремь» [12].

Другое важное направление – осуществление научно-исследовательской деятельности. Для этой цели предоставлены в постоянное (бессрочное) пользование ФБУ «ВНИИЛМ» лесные участки общей площадью 13,3 га в Костромском и Судиславском лесничествах (2 договора). Исследования ведутся Станцией на основании технического задания ФБУ «ВНИИЛМ». Основное направление исследований – возделывание ягодных растений, ценных в пищевом и лекарственном отношении: клюквы болотной и клюквы крупноплодной, брусники обыкновенной, голубики узколистной и голубики топяной, жимолости синей, княженики арктической, морошки приземистой. В связи с этим ставится задача разработать технологию и агротехнику плантационного выращивания ягодных культур. По результатам работы получено 9 патентов на сорта клюквы и брусники. Создание перспективных для выращивания сортов ягодных растений на выработанных торфяниках будет способствовать воспроизводству лесных плодовых, ягодных и лекарственных растений на территории Костромской области.

В настоящее время ведутся работы по ускоренному получению элитного посадочного материала ягодных растений с применением современных биотехнологических методов [25–31]. С 2014 г. в лаборатории клонального микроразмножения растений на базе Станции проводятся исследования по усовершенствованию технологии клонального микроразмножения растений, в том числе с применением различных росторегулирующих веществ. Это позволяет в короткие сроки организовать массовое получение высококачественного посадочного материала [13]. Издан лабораторный практикум по выращиванию лесных ягодных растений в условиях in vitro – методическое руководство, рассчитанное на студентов, аспирантов и специалистов биологических и сельскохозяйственных специальностей [4].

## *Заключение*

Таким образом, леса Костромской области располагают большим ресурсным потенциалом фитогенных пищевых и лекарственных растений, который в настоящее время недоиспользуется. Вовлечение в хозяйственный оборот многообразных недревесных ресурсов леса – одно из направлений организации многоцелевого использования лесов при сохранении и повышении их ресурсно-экологического потенциала.

В настоящее время необходимо особое внимание уделять организации использования лесов по следующим видам:

– выращивание лесных плодовых, ягодных, декоративных растений, лекарственных растений;

– заготовка пищевых лесных ресурсов и сбор лекарственных растений;

– заготовка и сбор недревесных лесных ресурсов.

Необходимо возобновить работу по выявлению ресурсов сырья пищевых и лекарственных лесных растений и охране их особо ценных угодий, продолжить исследования по разработке технологии и агротехники плантационного выращивания ягодных культур, выведению новых высокопродуктивных сортов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Александрова А.В.* Распространение и сырьевые запасы некоторых лекарственных растений на территории Костромской области // Материалы по изучению растительных ресурсов Костромской области. Вып. 30. Кострома, 1973. С. 3–27. [Alexandrova A.V. Distribution and Raw Materials of Some Medicinal Plants in the Kostroma Region. *Materialy po izucheniyu rsatitel'nykh resursov Kostromskoy oblasti.* Kostroma, 1973, iss. 30, pp. 3–27].

2. *Большаков А.Н.* Экономика и организация заготовки и переработки продукции побочного лесопользования в лесах Костромской области (на примере дикорастущих ягод): автореф. дис. … канд. экон. наук. Н. Новгород, 2005. 23 с. [Bol'shakov A.N. *Economics and Organization of Harvesting and Processing of Products of Secondary Forest Management in the Forests of the Kostroma Region (on the Example of Wild Berries).* Cand. Econ. Sci. Diss. Abs. Nizhny Novgorod, 2005. 23 p.].

3. *Васильков Б.П.* Методы учета съедобных грибов в лесах СССР. Л.: Наука, 1968. 68 с. [Vasilkov B.P. *Methods of Accounting for Edible Mushrooms in the Forests of the USSR*. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 68 p.].

4. Выращивание лесных ягодных растений в условиях in vitro: лабораторный практикум / сост. Макаров С.С., Калашникова Е.А, Кузнецова И.Б., Киракосян Р.Н. Кострома: Костромская ГСХА, 2019. 48 с. [*Growing of the Forest Berry Plants in the "in vitro" Conditions*: Laboratory Workshop. Authors: Makarov S.S., Kalashnikova Ye.A., Kuznetsova I.B., Kirakosyan R.N. Kostroma, GSHA Publ., 2019. 48 p.].

5. Государственная программа «Развитие лесного хозяйства Костромской области на 2014–2018 годы». Утв. постановлением администрации Костромской области от 26.08.2013 № 339-а. [*State Program "Development of Forestry in the Kostroma Region for 2014–2018*". Approved by a Decree of the Administration of the Kostroma region dd. August 26, 2013, no. 339-a].

6. Государственная программа «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 годы». Утв. Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 318. [*State Program "Development of Forestry in 2013–2020"*. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated April 15, 2014, no. 318].

7. *Егошина Т.Л.* Недревесные растительные ресурсы России. М.: НИА-Природа, 2005. 80 с. [Egoshina T.L. *Non-timber Plant Resources of Russia*. Moscow, NIA-Nature Publ., 2005. 80 p.].

8. *Красильников П.К., Никитин А.А.* К вопросу об учете запасов брусники, черники, голубики и клюквы в пределах лесной зоны европейской части СССР // Растительные ресурсы. М., 1965. Т. 1, вып. 1. С. 130–149. [Krasilnikov P.K., Nikitin A.A. To the Question of Accounting for Stocks of Cranberries and Blueberries within the Forest Area of the European Part of the USSR. *Rastitel'niye resursy*, 1965, vol. 1, iss. 1, pp. 130–149].

9. Лекарственные растения Костромской области: справочник / *Шретер А.И, Шутов В.В., Задорожный А.М.*. М.: Экология, 1992. 365 с. [Shreter A.I., Shutov V.V., Zadorozhniy A.M. *Medicinal Plants of the Kostroma Region:* Reference Book. Moscow, Ekolgiya Publ., 1992. 365 p.].

10. Леса Костромской области: современное состояние и перспективы лесопользования: учеб. пособие / *Шутов В.В., Сажин В.С., Новиков А.Н. и др.; под ред. В.В. Шутова.* Кострома: Изд-во КГТУ, 2006. 179 с. [Shutov V.V., Sazhin V.S., Novikov A.N. et al. *Forests of the Kostroma Region: Current State and Prospects for Forest Management:* Educational Textbook. Kostroma, KSTU Publ., 2006, 179 p.].

11. Лесной кодекс Российской Федерации. Утв. 04.12.2006 № 200-ФЗ (в ред. от 27.12.2018). [*The Forest Code of the Russian Federation*. Approved on December 4, 2006, no. 200-FZ (version dd. December 27, 2018)].

12. Лесной план Костромской области на 2019–2028 годы. Утв. Постановлением губернатора Костромской области от 25.01.2019 № 17. [*The Forest Plan of the Kostroma Region for 2019–2028*. Approved by the Decree of the Governor of the Kostroma Region dd. January 25, 2019, no. 17].

13. *Макаров С.С., Панкратова А.А.* Изучение влияния росторегулирующих веществ различной природы при клональном микроразмножении осины // Лесохозяйственная информация. 2016. № 3. С 138–143. Режим доступа: http://lhi.vniilm.ru/PDF/2016/3/LHI_2016_03-10-Makarov.pdf [*Study of Influence of the Various Growth-regulating Substances in Case of the Clonal Micropropagation of Aspen.* Silvicultural Information, 2016, no. 3, pp. 138–143].

14. Методика оценки запасов дикорастущих ягод (семейства брусничных) и грибов при лесоустройстве в центральной части подзоны южной тайги и северной подзоны смешанных лесов европейской территории РСФСР / Сост. А.Ф. Черкасов [и др.]. М.: ВНИИЛМ, 1990. 28 с. [*Methods of Assessing Stocks of Wild Berries (Cowberry) and Mushrooms for Forest Management in the Central Part of the Southern Taiga Subzone and the Northern Subzone of Mixed Forests of the European Territory of the RSFSR.* Authors: Cherkasov A.F. et al. Moscow, VNIILM Publ., 1990. 28 p.].

15. Недревесные лесные ресурсы Костромской области: дикорастущие плоды и ягоды, лекарственные растения и грибы: науч. моногр. / *Черкасов А.Ф., Миронов К.А., Шутов В.В. и др.; под ред. В.В. Шутова*. Кострома: Изд-во КГТУ, 2006. 250 с. [Cherkasov A.F., Mironov K.A., Shutov V.V. et al. *Non-timber Forest Resources of the Kostroma Region: Wild Fruits and Berries, Medicinal Plants and Mushrooms*: Monography. Kostroma, KSTU Publ., 2006, 250 p.].

16. Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации. Утв. приказом Минприроды Российской Федерации от 28.03.2007 № 68. [*On the Approval of the List of Forest Areas of the Russian Federation*. Approved by Order of the IPR of the Russian Federation dd. March 28, 2007, no. 68].

17. *Пантелеева О.И.* Организационно-экономические основы функционирования и развития рынка ягод в Костромской области: автореф. дис. … канд. экон. наук. Кострома, 1997. 23 с. [Panteleeva O.I. *Organizational and Methodological Foundations of the Functioning and Development of the Market of Berries in the Kostroma Region*. Cand. Econ. Sci. Diss. Abs. Kostroma, 1997. 23 p.].

18. Порядок заготовки и сбора гражданами недревесных лесных ресурсов, пищевых лесных ресурсов и лекарственных растений для собственных нужд на территории Костромской области. Утв. Законом Костромской области от 29.02.2008 № 272-4-ЗКО. [*The Procedure for the Collection by Citizens of Non-timber Forest Resources, Food Forest Resources and Medicinal Plants for Their Own Needs in the Territory of the Kostroma Region.* Approved by the Law of the Kostroma Region dd. February 29, 2008, No. 272-4-ZKO].

19. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. Приказом Минпромторга России и Минсельхоза России от 31.10.2008 № 248/482. [*The Development Strategy for the Forest Complex of the Russian Federation for the Period up to 2020*. Approved by Order of the Ministry of Industry and Trade and the Ministry of Agriculture of Russia dated October 31, 2008, no. 248/482].

20. Стратегия социально-экономического развития Костромской области на период до 2025 года. Утв. распоряжением администрации Костромской области от 27.08.2013 № 189-ра. [*The Socio-economic Strategy of Development of the Kostroma Region for the Period up to 2025*. Approved by the Order of the Kostroma Region Administration dd. August 27, 2013, no. 189-ra].

21. Стратегия социально-экономического развития Центрального федерального округа на период до 2020 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 06.09.2011 № 1540-р. [*Socio-economic Development Strategy of the Central Federal*

*Okrug for the Period up to 2020*. Approved by Order of the Government of the Russian Federation dd. September 6, 2011, no. 1540-r].

22. Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий регионального значения Костромской области. Утв. Постановлением Администрации Костромской области от 16.06.2008 № 172-а. [*The Scheme of Development and Placement of Specially Protected Natural Territories of Regional Significance of the Kostroma Region*. Approved by the Resolution of the Administration of the Kostroma Region dd. Juny 16, 2008, no. 172-a].

23. *Черкасов А.Ф.* Основные дикорастущие плодово-ягодные растения и грибы Костромской области, их ресурсы, использование и охрана // Природа Костромской области и ее охрана. Ярославль: Верх.-Волж. кн. изд-во, 1973. Вып. 1. С. 81–90. [Cherkasov A.F. The Main Wild Fruit and Berry Plants and Mushrooms of the Kostroma Region, Their Resources, Use and Protection. *Prirodа Kostromskoy oblasti i yeyo okhrana*. Yaroslavl, Verkhne-Volzhskoe Publ., 1973, iss. 1, pp. 81–90].

24. Эколого-экономические аспекты повышения эффективности использования и воспроизводства лесных ресурсов: моногр. / *Шутов В.В., Сажин В.С., Новиков А.Н. и др.* Кострома: Изд-во КГТУ, 2009. 223 с. [Shutov V.V., Sazhin V.S., Novikov A.N. et al. *Ecological and Economic Aspects of Improving the Efficiency of Use and Reproduction of Forest Resources:* Monography. Kostroma, KSTU Publ., 2009, 223 p.].

25. Debnath S.C. A Scale-up System for Lowbush Blueberry Micropropagation Using a Bioreactor. *HortScience,* 2009, vol. 44, iss. 7, pp. 1962–1966.

26. Dróżdż P., Šėžienė V., Pyrzynska K. Mineral Composition of Wild and Cultivated Blueberries. *Biological Trace Element Research*, 2018, vol. 181, iss. 1, pp. 173–177.

27. Kataria N., Yadav K., Kumari S., Singh N. Micropropagation: An Important Tool for Conserving Forest Trees. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 2013, vol. 36, iss. 1, pp. 1–26.

28. Paprštein F., Sedlák J. *In vitro* Multiplication of Lingonberry – Short Communication. *Horticultural Science*, 2015, vol. 42, iss. 2, pp. 102–106.

29. Prodorutti D., Pertot I., Giongo L., Gessler C. Highbush Blueberry: Cultivation, Protection, Breeding and Biotechnology. *European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2007, no.1, pp. 44–56.

30. Smith M.A.L. Vaccinium Species (Small-Fruited Berries): In Vitro Culture and the Production of Food Colorants and Phytochemicals. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, 2002, vol. 51 (Medicinal and Aromatic Plants XII), pp. 328–344.

31. X Zhao , L Zhan, X Zou. *In vitro* High-frequency Regeneration of Half-highbush ‘Northland’ Blueberry. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2011, vol. 39, iss. 1, pp. 51–59.

## PROBLEMS OF USE AND REPRODUCTION OF PHYTOGENIC FOOD AND MEDICINAL FOREST RESOURCES ON THE FOREST FUND LANDS OF THE KOSTROMA REGION*

***S.S. Makarov*[1]**, *Postgraduate Student, Senior Research Scientist;*
*ORCID: 0000-0003-0564-8888*
***E.S. Bagayev*[1]**, *Candidate of Agriculture, Acting Deputy Director for Science;*
*ORCID: 0000-0001-6527-4748*
***S.Yu. Tsaregradskaya*[2]**, *Candidate of Agriculture, Scientific Secretary*
***I.B. Kuznetsova*[3]**, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.*

*The article is published within the framework of implementation of the scientific journals development program in 2019.

Central-European Forest Experimental Station, Prospekt Mira str., 134, Kostroma, 156013, Russian Federation; e-mail: makarov_serg44@mail.ru, ce-los-lh@mail.ru
[2]All-Russian Scientific Research Institute of Silviculture and Forestry Mechanization, ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow region, 141202, Russian Federation;
e-mail: tsaregradskaya@vniilm.ru
[3]Kostroma State Agricultural Academy, Karavayevskaya s\a, 34, pos. Karavaevo, Kostroma region, 156530, Russian Federation; e-mail: sonnereiser@yandex.ru

The article provides the results of studies on the assessment of the potential of the phytogenic food and medicinal resources of the forest on the lands of the forest fund of the Kostroma region. The authors note that the forests of the region have large reserves of these resources, but their level of use remains low – on average in the region of 10 %. Harvesting of food forest resources and collection of medicinal plants as a type of business activity are not practiced, there is no lease of forest plots for this purpose. At the same time, the share of non-wood forest products accounts for more than 10 % of the total value of all forest products and in some cases exceeds the cost of wood. Zoning of food and medicinal plants in the Kostroma region by the largest biological reserves of resources is given. Potential centers for industrial procurement and processing of food and medicine resources have been identified. The resource, technological and economic justification for the organization of the preparation and processing of food and medicinal resources on an industrial basis. Particular attention should be paid to the organization and intensification of the cultivation of forest fruit, berry, ornamental and medicinal plants, the development of technology and agricultural technology of the cultivation of berry crops, the breeding of new highly productive varieties.
***For citation:*** Makarov S.S. Bagaev E.S., Tsaregradskaya S.Yu., Kuznetsova I.B. Problems of use and Reproduction of Phytogenic Food and medicinal Forest Resources on the Forest Fund Lands of the Kostroma region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 118–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.118

*Keywords:* forest management, non-timber forest resources, fruit and berry plants, mushrooms, medicinal raw materials, harvesting, processing.

Поступила 22.04.19 / Received on April 22, 2019

УДК 574.23, 577.118, 581.192.1
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.132

# СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЛИСТЬЯХ БЕЛЫХ БЕРЕЗ В ИНТРАЗОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ НА СЕВЕРНОМ УРАЛЕ

***В.Д. Горбунова, ст. инженер***
***С.Л. Менщиков, д-р с.-х. наук***
Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, ул. 8 Марта, 202а, г. Екатеринбург, Россия, 620144;
e-mail: botgarden.gor@yandex.ru, m.sergei1951@yandex.ru

Изучены особенности накопления, межвидовые отличия, индивидуальная изменчивость и соотношение элементов питания (азота (N), фосфора (P), калия (K), кальция (Ca), магния (Mg) и натрия (Na)) в листьях *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. в интразональных условиях высокогорья на Северном Урале. Исследования проводились в течение двух лет во всех горных поясах горы Конжаковский Камень – в контроле (высота 207 м н. у. м.), на нижней (высота 423 м н. у. м.) и верхней (высота 555 м н. у. м.) границе горно-лесного пояса, в подгольцовом (высота 830 м н. у. м.) и тундровом (высота 1117 м н. у. м.) поясах. Установлена противоположная направленность процесса накопления макроэлементов в листьях двух видов вдоль высотного градиента – достоверное увеличение содержания азота и фосфора в листьях *B. pubescens* с увеличением высоты произрастания и уменьшение у *B. pendula* (за оба года исследования). Полученные результаты изменения содержания макроэлементов в листьях *B. pubescens* и *B. pendula,* вероятно, связаны с различными механизмами адаптации данных видов к экстремальным факторам среды, что у более устойчивой к условиям высокогорья *B. pubescens* проявлялось в увеличении содержания макроэлементов. Несмотря на отличия двух видов в содержании общего азота и значительную погодичную изменчивость, соотношение азота к фосфору и калию в листьях берез достоверно не отличалось ни между видами, ни между годами. Таким образом, соотношение азота к фосфору и калию являлось достаточно стабильным параметром, который не изменялся по годам, несмотря на значительную разницу в общем содержании азота между годами, где в 2008 г. общее содержание азота достоверно превышало показатели 2006 г. Соотношение азота к фосфору и калию достоверно увеличивалось в высших точках и контроле, что показывает наличие зональной изменчивости, а при этом данный показатель стабилен только внутри горного пояса, т. к. погодичная изменчивость не выражена, что также подтверждают данные двухфакторного дисперсионного анализа.

***Для цитирования:*** Горбунова В.Д., Менщиков С.Л. Содержание элементов питания в листьях белых берез в интразональных условиях на Северном Урале // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 132–145. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.132

*Ключевые слова:* экология, биохимия, содержание макроэлементов в листьях, соотношение элементов питания*, Betula pendula*, *Betula pubescens.*

## *Введение*

Проблемы роста и адаптации растений являются центральными в физиологии, агрономии и лесоводстве. От приспособленности растений к конкретным почвенно-климатическим условиям в основном зависит продуктивность древостоев. Важнейшим механизмом адаптации древесных растений в экстре-

мальных экологических условиях является совокупность многих перестроек в растительном организме. Физиолого-биохимические исследования позволяют всесторонне анализировать жизненное состояние древесных растений и являются важным индикатором их устойчивости к неблагоприятным условиям среды [13, 9].

Сложные взаимные влияния климатических, геохимических и связанных с ними биотических факторов обусловливают изменчивость химического состава растений (органические соединения и образующие их химические элементы), который, в свою очередь, дополнительно определяется и их видовой принадлежностью [11]. Представители рода *Betula* являются одной из основных лесообразующих пород России и занимают более половины всей площади, находящейся под лиственными древесными породами [4]. Благодаря широкому распространению виды березы являются хорошим объектом для изучения влияния экологических факторов на химический состав листьев. А изучение изменчивости биохимических и физиологических показателей вдоль высотного градиента может быть одним из подходов для выявления механизмов адаптации к условиям среды. Так, например, литературные данные показывают увеличение концентрации азота в листьях *B. pubescens* в высотном градиенте [19]. Предполагается, что повышенная концентрация азота в листьях высокогорных саженцев березы пушистой является генетически определенной и имеет адаптивное значение в холодной среде [20]. Показана положительная корреляция между концентрацией азота в листьях и скоростью нетто-фотосинтеза (наблюдаемого фотосинтеза) [16]. В исследованиях, проведенных с сеянцами березы повислой [14], был сделан вывод, что накопление и распределение сухой массы и азота зависит от режима снабжения питательными веществами. Известно, что недостаток азота и фосфора проявляется в снижении формирования побегов и листьев. Уменьшение доступности фосфора ведет к снижению экспорта сахаров из хлоропластов в цитозоль [17], а недостаток калия приводит к снижению фотосинтеза [18].

Литературные данные показывают взаимосвязь продуктивности древесных пород и содержания биофильных элементов в ассимилирующих органах растений, при этом наиболее важным критерием является не общее содержание элементов, а их соотношение [1]. Также можно увидеть, что соотношение *NPK* является не только показателем уровня минерального питания, но и характеризует функциональное состояние растений [2]. Известно, что из-за низких температур поступление из почвы в растения воды с растворенными минеральными солями сильно затруднено [3], а также известно, что в холодных почвах наблюдается уменьшение способности всасывания воды корнями растений, а следовательно, и растворенных веществ. Снижение температуры корнеобитаемого пространства задерживает поглощение зольных веществ, фосфора и азота [6], при этом сильнее всего задерживается поглощение фосфора и включение его в органические соединения.

Особый интерес представляет изучение популяций березы высокогорных областей. Жесткие климатические условия ставят горные экосистемы в один ряд с «крайними для существования жизни» зональными тундрами или арктическими пустынями и способствуют формированию сходных черт биоты высоких широт и высокогорий. Однако сведений по этому вопросу недостаточно.

В связи с вышеизложенным становится понятным и целесообразным проведение данного исследования.

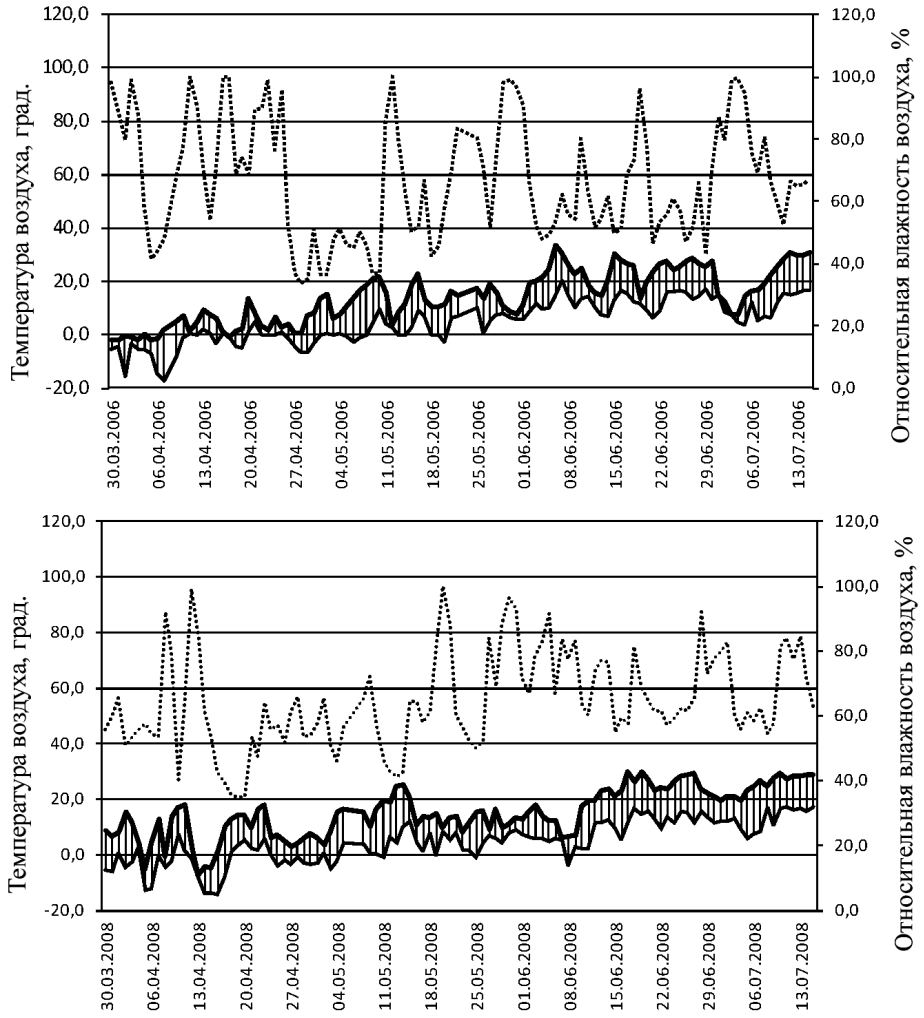
Цель наших исследований – изучение особенностей содержания и соотношения азота (N), фосфора (P), калия (K), кальция (Ca), магния (Mg) и натрия (Na) в листьях *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. в зависимости от поясной зональности в условиях высокогорья на примере Северного Урала.

*Объекты и методы исследования*

Конжаковский Камень (59°37’9’’ с. ш., 59°8’11’’ в. д.) – высочайшая точка южной части Северного Урала (1569 м). Климат района является холодным, избыточно влажным и характеризуется коротким и умеренно теплым летом, длинной и холодной зимой, очень ранним установлением снежного покрова (с конца сентября). Годовое количество осадков в горно-таежном поясе – 500…700 мм, а в выше лежащих поясах увеличивается и достигает 1200 мм. Горно-лесной пояс поднимается до высоты 850…900 м н. у. м., где преобладают темнохвойные леса, от 900 до 1000 м расположен подгольцовый пояс. Широко распространенная в горных лесах береза пушистая заменяется близкородственным видом – березой извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.). Верхнюю часть гор (выше 1000 м) занимает горно-тундровый пояс [12]. В хвойных лесах подгольцового пояса почва прогревается хуже, чем в горной тундре на открытом месте. Вегетационный период в высокогорной области Урала значительно короче, чем в горно-таежном поясе [3]. Распределение максимальных и минимальных температур воздуха и относительной влажности за сутки в период с 30 марта по 15 июля 2006 и 2008 гг. представлены на рис. 1.

Для анализа климатических и погодных зависимостей использовали данные по метеостанции г. Серова, расположеной в 78 км восточнее от горы Конжаковский Камень на высоте 134 м н. у. м. (*www.rp5.ru*), с 2006 по 2008 г. В целом, хотя в 2008 г. положительные температуры воздуха были отмечены с конца марта, они сопровождались непродолжительными заморозками до начала мая и заморозками в начале июня. В 2006 г. средние положительные температуры воздуха более +5 ˚С начались с 1 мая и до середины июля не снижались до минусовых температур, при этом влажность воздуха была выше, чем в 2008 г., если учитывать период с конца апреля. Средняя температура за период с 30 марта по 15 июля зафиксирована 9,9 ˚С в 2006 г. и 10,1 ˚С в 2008 г., относительная влажность воздуха – 66,5 % в 2006 и 65,5 % в 2008 г. По литературным данным, начало вегетации для белых берез Сибири происходит при температуре +9,2 ˚С [7].

Исследования проводились в течение двух лет во всех горных поясах горы Конжаковский Камень и контроле (наиболее типичный для данной области тип леса). Растительный материал был собран в 2006 и 2008 гг., во второй половине июля. Для изучения индивидуальной изменчивости образцы брались с каждого из 15 деревьев двух видов с нижней трети кроны с южной экспозиции во всех горных поясах. Листья *B. pubescens* отбирались в контроле (высота 207 м н. у. м.), на нижней (высота 423 м н. у. м.) и верхней (высота 555 м н. у. м.) границе горно-лесного пояса, в подгольцовом (высота 830 м н. у. м.) и тундровом (высота 1117 м н. у. м.) поясах, *B. pendula* в контроле и на нижней и в верхней границе горно-лесного пояса.




…… относительная влажность (%) на высоте 2 м над поверхностью земли
_____ максимальная температура воздуха (градусы Цельсия) за прошедший период (не более 12 часов)
_____ минимальная температура воздуха (градусы Цельсия) за прошедший период (не более 12 часов)

Рис. 1. Максимальные и минимальные температуры воздуха и относительная влажность воздуха за сутки в период с 30 марта по 15 июля 2006 и 2008 гг. по данным метеостанции г. Серова

Fig. 1. Maximum and minimum air temperatures and relative air humidity per day in the period since March 30 till July 15, 2006 and 2008 according to the data from meteorological station in town of Serov

Определение содержания общего азота выполняли с помощью автоматического анализатора азота по Кьельдалю UDK 152 (Velp scientifica), калия, кальция, магния, натрия и фосфора – из одной навески мокрым озолением и последующим определением элементов на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-300, фосфора – спектрофотометрическим методом с молибденовой синью [10]. Результаты пересчитывались в соотношение элементов. Соотношение *NPK* рассчитывалось как доля азота, фосфора и калия в общей сумме элементов. Полученный материал был проанализирован с помощью метода статистического анализа в программе Statistica 6.0.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Выявлены особенности накопления основных макроэлементов в листьях берез двух исследованных видов, индивидуальная изменчивость содержания макроэлементов вдоль высотного градиента горы Конжаковский Камень, а также межвидовые отличия (рис. 2).

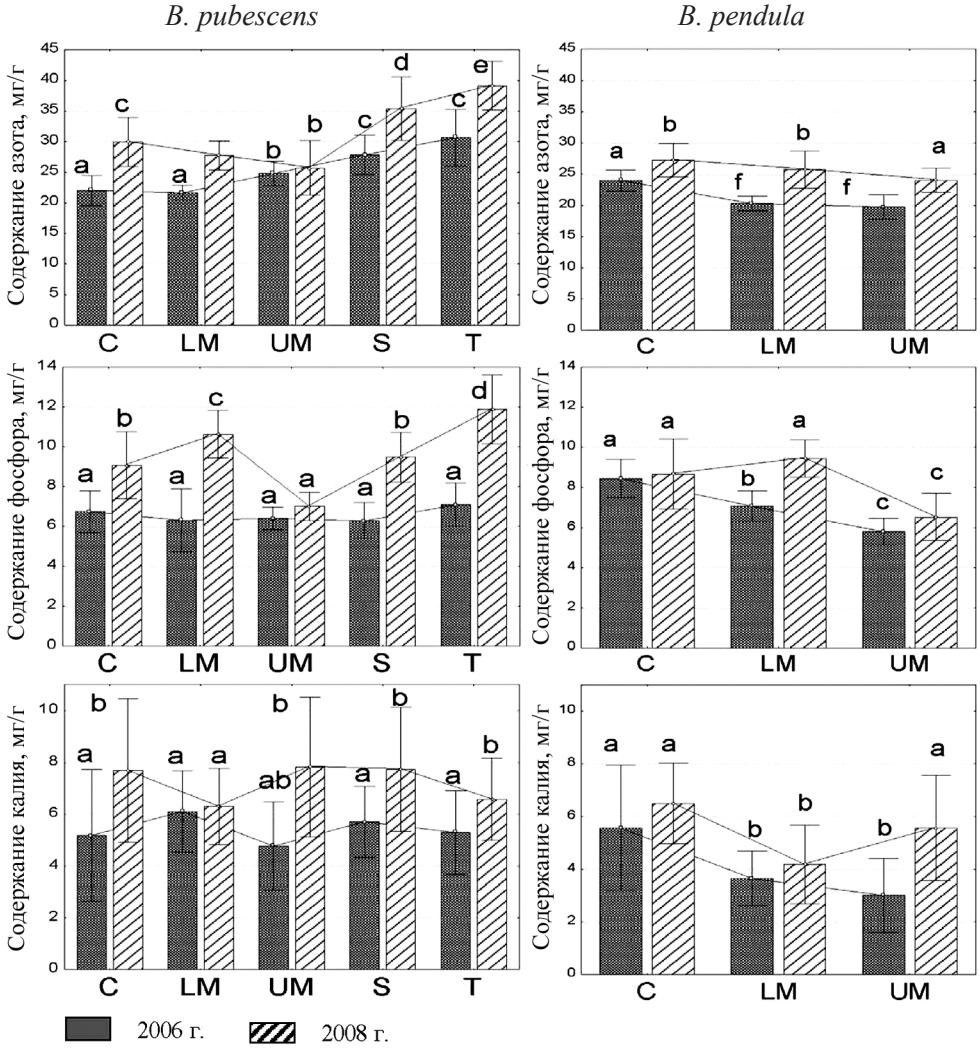



Рис. 2. Содержание общего азота, фосфора и калия в листьях *B. pubescens* и *B. pendula* вдоль высотного градиента горы Конжаковский Камень: C – контроль; LM – нижняя граница горно-лесного пояса; UM – верхняя граница горно-лесного пояса; S – подгольцовый; T – тундра. Разные буквы над столбцами обозначают статистически значимые отличия (при F-критерии Фишера при 5 %-м уровне значимости; *n* = 15). Вертикальные линии обозначают стандартное отклонение (SD), индивидуальную изменчивость из 15 деревьев

Fig. 2. Content of total nitrogen, phosphorus and potassium in the leaves of *B. pubescens* and *B. pendula* along the altimetric gradient of the *Konzhakovskiy Kamen'* mountain: C – reference control mark; LM – lower boundary of the mountain forest belt; UM – upper boundary of the mountain forest belt; S – sub-golets; T – tundra. The letters above the columns imply the statistically significant differences (F – Fisher's tests at 5 % significance level; *n* = 15). The vertical lines denote standard deviation (SD), individual variation from 15 trees

Обнаружена различная направленность двух видов в изменении химического состава листьев с увеличением высоты произрастания.

Наиболее значимые тенденции связаны с изменением содержания азота, фосфора и калия. Содержание азота в листьях *B. pubescens* увеличивалось вдоль высотного градиента от контроля к тундре за оба года исследования. Несмотря на значительную погодичную изменчивость тенденции сохранялись в 2006 и 2008 гг. В 2006 г. содержание азота в листьях *B. pubescens* увеличивалось вдоль высотного градиента с 22,04 ± 0,78 мг/г в контроле, до 30,7 ± 1,5 мг/г в тундре, где достигло максимального значения.

Найдены достоверные отличия в содержании азота между контролем, нижней границей горно-лесного пояса и верхней границей горно-лесного пояса, подгольцовым и тундровым поясами ($p < 0,05$). В 2008 г. максимальное содержание азота, обнаруженного в тундровом поясе, – 39,1 ± 1,0 мг/г, что достоверно отличалось от остальных поясов высотного ряда. На нижней границе горно-лесного пояса оказалось наименьшее содержание азота в листьях – 27,7 ± 0,6 мг/г, достоверных отличий между этой точкой и контролем не выявлено.

Погодичная изменчивость проявилась в повышенном содержании азота в 2008 г. по сравнению с 2006 г. Содержание азота в листьях в 2008 г. было выше, чем в 2006 г., и достоверно отличалось во всех поясах высотного ряда, за исключением верхней границы, где данный параметр не изменялся ($p > 0,05$). Содержание азота в тундровой зоне по сравнению с контролем увеличивалось на 26 % в 2006 и на 21 % в 2008 г.

В отличие от *B. pubescens* у *B. pendula* наблюдается тенденция уменьшения содержания изучаемых макроэлементов в листьях с увеличением высоты произрастания. За оба года исследования содержание азота в листьях *B. pendula* уменьшалось вдоль высотного градиента от контроля до верхней границы горно-лесного пояса (рис. 2). Максимальное содержание азота в 2006 г. обнаружено в контроле – 24 ± 0,5 мг/г, что достоверно не отличается от березы пушистой ($p > 0,05$), наименьшее – на верхней (19,7±0,6 мг/г) и нижней (20,3 ± 0,4 мг/г) границе горно-лесного пояса. Данный показатель в 2008 г. составлял 27,2 ± 0,7 мг/г в контроле, уменьшился до 25,7±0,8 мг/г на нижней границе горно-лесного пояса и до 24,0 ± 0,5 мг/г на верхней границе горно-лесного пояса. Тенденции изменения содержания общего азота в листьях берез вдоль высотного градиента сохранялись за два года, несмотря на значительную погодичную изменчивость. Во всех точках исследования содержание азота в 2008 г. было выше, чем в 2006 г., что, вероятно, связано с температурой и влажностью воздуха и почвы за вегетационный период исследования.

В отличие от содержания азота содержание фосфора в листьях березы пушистой не показало определенных тенденций. У березы пушистой в 2006 г. достоверных различий между поясами не обнаружено, в 2008 г. содержание фосфора флуктуировало, выявлены различия данного показателя среди горных поясов (рис. 2). Обнаружено максимальное содержание фосфора в тундровом поясе (11,9 ± 0,4 мг/г), что достоверно отличается от контроля (9,1 ± 0,4 мг/г), нижней (10,6 ± 0,3 мг/г) и верхней (6,8 ± 0,2 мг/г) границы горно-лесного пояса и подгольцового пояса (9,5 ± 0,3 мг/г). При изучении погодичной изменчивости обнаружены достоверные различия по содержанию фосфора во всех точках высотного ряда. Во всех случаях содержание фосфора в 2008 г. достоверно выше ($p < 0,05$), чем в 2006 г.

У березы повислой обнаружена тенденция уменьшения содержания фосфора с увеличением высоты произрастания в отличие от березы пушистой (рис. 2). У *B. pendula* в 2006 г. содержание фосфора уменьшалось от контроля (8,4 ± 0,3 мг/г) до верхней границы горно-лесного пояса (5,8 ± 0,2 мг/г) и достоверно отличалось между горными поясами. В 2008 г. содержание фосфора также снижалось к верхней границе горно-лесного пояса и составило 6,5 ± 0,3 мг/г, что достоверно отличалось от остальных поясов. Изменения за два года были найдены только в нижней границе горно-лесного пояса, где в 2008 г. содержание фосфора было значительно выше, чем в 2006 г., в остальных точках различия между годами были недостоверны.

Изменение содержания калия в листьях березы пушистой и повислой повторяло тенденции изменения фосфора. Содержание калия в листьях березы пушистой было стабильно во всех точках высотного ряда за оба года исследования, при этом уровень калия в 2008 г. превышал уровень 2006 г. практически во всех точках, что также повторяет тенденции содержания фосфора (рис. 2). Хотя уровень индивидуальной изменчивости калия был значительно выше – больше 28 %, по сравнению с фосфором – меньше 11 %.

В отличие от березы пушистой в листьях *B. pendula* есть тенденция снижения содержания калия от контроля к верхней границе горно-лесного пояса (рис. 3), а также высокий уровень индивидуальной изменчивости – от 29 до 43 %. В 2006 г. контроль был достоверно выше верхней и нижней границы горно-лесного пояса. Однако в контроле при межвидовом сравнении исследуемых берез различий не было ($p > 0,05$), различий по годам также выявлено не было.

Отмечена тенденция уменьшения содержания кальция в листьях *B. pubescens* вдоль высотного градиента за оба года (рис. 3). Найдены достоверные отличия ($p < 0,05$) между нижними и верхними точками высотного ряда. Достоверные отличия между годами обнаружены во всех поясах, за исключением подгольцового и тундрового.

Содержание кальция у березы повислой также достоверно снижалось с увеличением высоты, что повторяет тенденцию березы пушистой (рис. 3). При этом за оба года исследования контроль достоверно отличался от верхней и нижней границы горно-лесного пояса. Содержание кальция уменьшалось на 38,6 и 45,5 % у березы пушистой и на 19,2 и 31,7 % у березы повислой в 2006 и 2008 гг. соответственно. Уровень индивидуальной изменчивости в 2006 г. варьирует от 11 до 17 % у березы пушистой; от 9 до 17 % у березы повислой; в 2008 г. – от 11 до 24 % у березы пушистой, от 15 до 30 % у березы повислой.

Найдена определенная тенденция увеличения содержания магния в листьях березы пушистой в верхних поясах. За оба года исследования содержание магния в контроле достоверно снижалось. Изучение погодичной изменчивости показало достоверные отличия между годами, при этом содержание магния в 2008 г. превышало показатели 2006 г. Анализ содержания магния не показал определенных тенденций изменения этого элемента в листьях березы повислой. Погодичная изменчивость проявилась в повышении содержания магния во всех точках высотного ряда в исследовании 2008 г.

Индивидуальная изменчивость содержания натрия была максимальная среди изученных макроэлементов – от 35 до 71 %, характеризуется высоким уровнем, достоверных отличий между годами и между горными поясами не обнаружено. Достоверных отличий не обнаружено ни между горными поясами, ни между годами исследования (рис. 3).

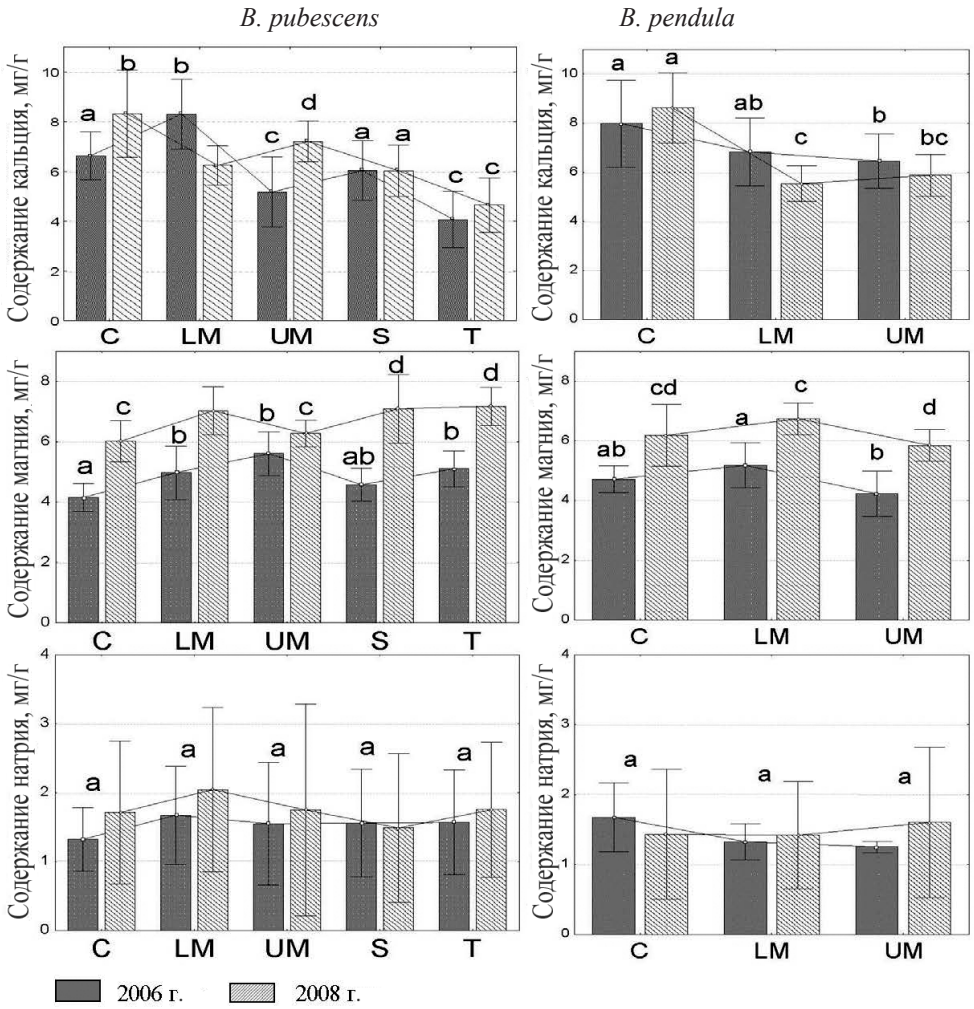



Рис. 3. Содержание общего кальция, магния и натрия в листьях *B. pubescens* и *B. pendula* вдоль высотного градиента горы Конжаковский Камень: C – контроль; LM – нижняя граница горно-лесного пояса; UM – верхняя граница горно-лесного пояса; S – подгольцовый; T – тундра. Разные буквы над столбцами обозначают статистически значимые отличия ( при F-критерии Фишера при 5 %-м уровне значимости, $n = 15$). Вертикальные линии обозначают стандартное отклонение (SD), индивидуальную изменчивость из 15 деревьев

Fig. 3. Content of total calcium, magnesium and sodium in the leaves of *B. pubescens* and *B. pendula* along the altimetric gradient of the *Konzhakovskiy Kamen'* mountain: C – reference control mark; LM – lower boundary of the mountain forest belt; UM – upper boundary of the mountain forest belt; S – sub-golets; T – tundra. The letters above the columns imply the statistically significant differences, (F – Fisher's tests at 5 % significance level; $n = 15$). The vertical lines denote standard deviation (SD), individual variation from 15 trees

Содержание натрия в листьях березы повислой, как у березы пушистой, не показало достоверных отличий между высотами и годами, при этом индивидуальная изменчивость была также на высоком уровне.

В табл. 1 показаны результаты двухфакторного дисперсионного анализа содержания макроэлементов в листьях березы пушистой. Содержание азота, фосфора, кальция было тесно связано с климатическими условиями текущего

года и высотного пояса, в то время как содержание магния и калия зависело только от года исследования и не зависело от высотного профиля, содержание натрия не зависело ни от года, ни от высоты произрастания (см. рис. 4).

Таблица 1

**Влияние климатических факторов на содержание макроэлементов в листьях *B. pubescens* (по результатам двухфакторного дисперсионного анализа)**

| Фактор | Азот | Фосфор | Кальций | Магний | Натрий | Калий |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Год | *** | *** | * | *** | н/д | *** |
| Пояс | *** | *** | *** | н/д | н/д | н/д |
| Взаимодействие факторов | ** | *** | * | *** | н/д | н/д |

Примечание: н /д – *F*-критерий недостоверен; * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001.

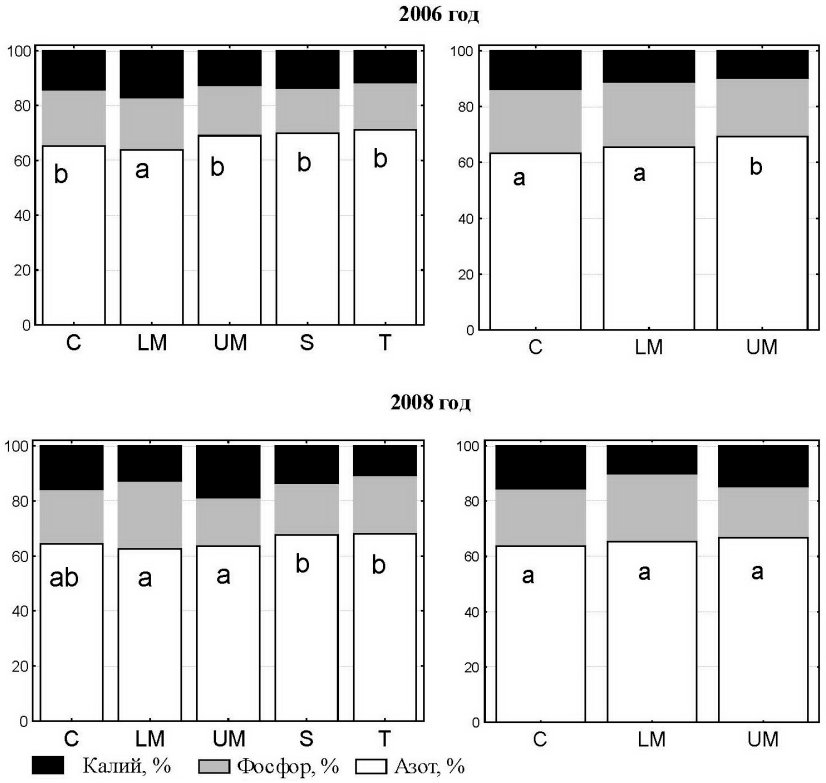



Рис. 4. Соотношение *NPK* (%) в листьях *B. pubescens* и *B. pendula* вдоль высотного градиента горы Конжаковский Камень: C – контроль; LM – нижняя граница горно-лесного пояса; UM – верхняя граница горно-лесного пояса; S – подгольцовый; T – тундра. Разные буквы над столбцами обозначают статистически значимые отличия (при F-критерии Фишера при 5 %-м уровне значимости, *n* = 15)

Fig. 4. *NPK* (%) relationship in the leaves of *B. pubescens* and *B. pendula* along the altimetric gradient of the *Konzhakovskiy Kamen'* mountain: C – reference control mark; LM – lower boundary of the mountain forest belt; UM – upper boundary of the mountain forest belt; S – sub-golets; T – tundra. The letters above the columns imply the statistically significant differences (F – Fisher's tests at 5 % significance level; *n* = 15). The vertical lines denote standard deviation (*SD*), individual variation from 15 trees

Оба вида отличались изменением соотношения *NPK* в сторону снижения содержания азотистых соединений только в горно-лесном поясе (63 и 64 % в 2008 г., 64 % в 2006 г.), при этом соотношение фосфора и калия в листьях снижалось (18 % фосфора, 18 % калия в 2006 г.; 24 % фосфора, 13 % калия и 17 % фосфора и 19 % калия в 2008 г.).

Сумма азота, фосфора и калия в высотном градиенте достоверно увеличивалась у березы пушистой и значительно снижалась у березы повислой, при этом разница за два года была достоверной и превышала в 2008 г. у двух видов. При этом процентное соотношение азота в контроле (65 % в 2006 г., 64 % в 2008 г.) не отличалось от верхних поясов, эта тенденция была выявлена как у березы пушистой, так и у березы повислой. Сравнивая березу пушистую и березу повислую, можно отметить отсутствие отличий между двумя видами по процентному соотношению азота (см. рис. 4).

Несмотря на обнаруженное у березы повислой достоверное уменьшение содержания общего азота в листьях с высотой произрастания, соотношение азота к фосфору и калию достоверно не отличалось от березы пушистой. Доля азота в листьях двух видов берез не изменялась, что может свидетельствовать о равной продуктивности двух видов в высотном градиенте, несмотря на значительное снижение общего содержания азота у березы повислой, т. к., по литературным данным, снижение продуктивности древесных пород сопровождается уменьшением в листьях или хвое доли азота при некотором увеличении (уменьшении) фосфора и калия [1]. Также нет достоверных отличий между двумя годами в каждой исследуемой точке высотного ряда.

Таким образом, процентное соотношение азота являлось достаточно стабильным параметром, который не изменялся по годам, несмотря на значительную разницу в общем содержании азота между годами, где в 2008 г. содержание азота достоверно выше, чем в 2006 г. Достоверно значимое увеличение данного параметра в высших точках и контроле показывает стабильность только в пределах горного пояса, что подтверждает наличие зональной изменчивости, при этом погодичная изменчивость не выражена, что также подтверждают данные двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 2).

Оценка влияния климатических факторов на соотношение *NPK* показана в табл. 2. На процентное соотношение азота, фосфора и калия не повлияли погодные условия двух лет исследования, на соотношение *NPK* оказало влияние высотная поясность горного профиля. Это подтверждают литературные данные, по которым соотношение *NPK* в растениях данного вида в условиях адаптации не зависит от географических и почвенно-климатических условий и является видовым генотипическим признаком [8].

Таблица 2

**Влияние климатических факторов на соотношение *NPK* в листьях *B. pubescens* (по результатам двухфакторного дисперсионного анализа)**

| Фактор | Азот, % | Фосфор, % | Калий, % | Сумма *NPK*, мг/г |
|---|---|---|---|---|
| Год | н/д | н/д | н/д | *** |
| Пояс | ** | *** | ** | *** |
| Взаимодействие факторов | *** | н/д | *** | ** |

Примечание: н/д. – F-критерий недостоверен; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Полученные результаты изменения содержания макроэлементов в листьях *B. pubescens* и *B. pendula,* вероятно, связаны с различными физиологическими механизмами адаптации растений к экстремальным факторам среды. Адаптация листа к неблагоприятным условиям у более устойчивой к условиям высокогорья березы пушистой проявлялась в увеличении содержания азота и фосфора. Высокую концентрацию азота в листьях объясняют тенденцией высокогорных растений запасать питательные вещества. Подобная стратегия предполагается как способ адаптации растений к среде с недостатком питательных веществ [15]. Высокая скорость развития фотосинтетического аппарата в условиях высокогорья, скорее всего, необходима для выживания и распространения при более коротком вегетационном периоде в горно-тундровой зоне.

Экологические различия двух видов проявляются в дальнейшем продвижении *B. pubescens* в подгольцовый и тундровый пояса, мы предполагаем, что в т. ч. из-за большей устойчивой к повышению влажности почвы, т. к. в выше лежащих поясах количество осадков увеличивается по сравнению с горно-таежным поясом. У *B. pendula* пределом распространения является горно-лесной пояс, что также, вероятно, отражается на химическом составе листьев. У *B. pendula* наблюдается тенденция уменьшения содержания макроэлементов в листьях, что, скорее всего, связано с экологическими особенностями вида. Отличия двух видов проявились в увеличении содержания азота и определенных тенденций увеличения содержания фосфора в листьях березы пушистой при снижении данных элементов в листьях березы повислой с увеличением высоты произрастания. Сходство двух видов – в тенденции уменьшения содержания кальция с высотой, хотя общее содержание элемента достоверно отличалось, а также в широком диапазоне индивидуальной изменчивости натрия и отсутствии отличий между видами и поясами. Основные элементы питания в листьях двух видов располагались в ряду по убыванию содержания азот > фосфор = кальций = калий > натрий.

Погодичная изменчивость проявилась в достоверном увеличении содержания азота, фосфора, калия, магния в листьях березы пушистой в 2008 г. по сравнению с 2006 г. и азота, фосфора и магния у березы повислой в 2008 г., что, вероятно, связано с температурой и влажностью воздуха и почвы за вегетационный период исследования. Возможно, более позднее начало вегетационного сезона в 2006 г., сопровождавшееся более высокой влажностью, оказало влияние на снижение содержания макроэлементов в листьях берез.

## *Заключение*

Впервые изучены особенности накопления макроэлементов в листьях белых берез в интразональных условиях на Северном Урале, внутривидовые и межвидовые отличия и вариабельность внутри экотопа вдоль высотного градиента. Установлена противоположная направленность процесса накопления макроэлементов в листьях двух видов вдоль высотного градиента – достоверное увеличение содержания азота и фосфора в листьях *B. pubescens* с увеличением высоты произрастания и уменьшение у *B. pendula* (за оба года исследования). Полученные результаты изменения содержания макроэлементов в листьях *B. pubescens* и *B. pendula,* вероятно, связаны с различными механизмами адаптации данных видов к экстремальным факторам среды, что у более устойчивой

к условиям высокогорья *B. pubescens* проявлялось в увеличении содержания макроэлементов.

Несмотря на отличия двух видов в содержании общего азота и значительную погодичную изменчивость, соотношение азота к фосфору и калию в листьях берез достоверно не отличалось ни между видами, ни между годами. Таким образом, соотношение азота к фосфору и калию являлось достаточно стабильным параметром, который не изменялся по годам, несмотря на значительную разницу в общем содержании азота между годами, где в 2008 г. общее содержание азота достоверно превышало показатели 2006 г. Соотношение азота к фосфору и калию достоверно увеличивалось в высших точках и контроле, что показывает наличие зональной изменчивости, а при этом данный показатель стабилен только внутри горного пояса, т. к. погодичная изменчивость не выражена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Беляев А.Б.*, *Щеглов Д.И.* Листовая диагностика продуктивности древесных пород // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. 2012. № 2. С. 125–131. Серия: Химия. Биология. Фармация. [Belyaev A.B., Shcheglov D.I. Leaves Diagnostics of Tree Species Productivity. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Khiniya, Biologiya, Farmatsiya,* 2012, no. 2, pp. 125–131].

2. *Вахмистров Д.Б.*, *Воронцов В.А.* Избирательная способность растений не направлена на обеспечение их максимального роста // Физиология растений. 1997. Т. 44, № 3. С. 404–412. [Vakhmistrov D.B., Vorontsov V.A. Electoral Ability of Plants is not Aimed at Ensuring Their Maximum Growth. *Fiziologiya resteniy,* 1997, vol. 44, no. 3, pp. 404–412].

3. *Горчаковский П.Л.* Растительный мир высокогорного Урала. М.: Наука, 1975. 283 с. [Gorchakovsky P.L. *The Flora of the High Urals*. Moscow, Nauka Publ., 1975, 283 p.].

4. *Дроздов С.Н., Холопцева Е.С., Сазонова Т.А.* Свето-температурная характеристика сеянцев березы пушистой *Betula pubescens* (Betulaceae) // Лесн. журн. 2014. № 1(337). С. 27–36. (Изв. высш. учеб. заведений). [Drozdov S.N., Kholoptseva E.S., Sazonova T.A. Light-Temperature Characteristics of Downy Birch Seedlings Betula pubescens (Betulaceae). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2014, no. 1(337), pp. 27–36]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b90/drozdov.pdf

5. *Кищенко И.Т.* Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесообразующих видов в таежной зоне // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 51–63. (Изв. высш. учеб. заведений). [Kishchenko I.T. The Influence of Climatic Factors on the Seasonal Growth of Trees of Deciduous Forest-Forming Species in the Taiga Zone. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 51–63]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.51; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/cf1/kishchenko.pdf

6. *Коровин А.И., Сычева З.Ф., Барская Т.А.* Влияние температуры почвы в онтогенезе растений на поглощение ими фосфора и азота // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений: сб. ст. / отв. ред. З.И. Журбицкий; Акад. наук СССР. Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева. М., 1964. С. 311–313. [Korovin A.I., Sycheva Z.F., Barskaya T.A. The Influence of Soil Temperature in the Ontogenesis of Plants on the Absorption of Phosphorus and Nitrogen by Them. *Rol' mineral'nykh elementov v obmene veshchestv i produktivnosti rasteniy.* Moscow, 1964, pp. 311–313].

7. *Корзухин М.Д., Цельникер Ю.Л.* Анализ распространения и чистой первичной продукции четырех лесных пород деревьев в России с помощью экофизиологической модели // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2009. Т. 22. С. 92–123. [Korzukhin M.D, Tselnicker Y. L. Analysis of The Distribution and Net Primary Production of Four Forest Tree Species in Russia Using an Ecophysiological Model. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem.* 2009, vol. 22, pp. 92–123].

8. *Лавриченко В.М., Журбицкий З.И*. Соотношение элементов питания в растениях как видовое генотипическое явление // Агрохимия. 1976. № 9. С. 135–141. [Lavrichenko V.M., Zhurbitsky Z.I. The Ratio of Nutrients in Plants as a Species Genotypic Phenomenon. *Agrokhimiya,* 1976, no. 9, pp. 135–141].

9. *Маракаев О.А., Смирнова Н.С., Загоскина Н.В*. Техногенный стресс и его влияние на лиственные древесные растения (на примере парков г. Ярославля) // Экология. 2006. № 6. С. 410–415. [Marakaev O.A., Smirnova N.S., Zagoskina N.V. Technogenic Stress and Its Impact on Deciduous Woody Plants (for Example, Parks in Yaroslavl). *Ekologiya*, 2006, no. 6, pp. 410–415].

10. Методическое руководство по ускоренному анализу золы растений и определению азота. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1990. 45 с. [*Methodological Guide to the Accelerated Analysis of Plant Ash and Nitrogen Determination*. Petrozavodsk, Nauchniy tsentr AN USSR Publ., 1990. 45 p.].

11. *Митрофанов Д.П*. Химический состав лесных растений Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 120 с. [Mitrofanov D.P. *The Chemical Composition of Forest Plants of Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 120 p.].

12. *Моисеев П.А. и др*. Динамика подгольцовых древостоев на склонах Серебрянского Камня (Северный Урал) в последние столетия // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 1–2. [Moiseyev P.A. et al. Dynamics of Subgoltsy Stands on the Slopes of the Serebryansky Stone (Northern Urals) in Recent Centuries. *Khvoyniye boreal'noy zony,* 2008, vol. 25, no. 1–2].

13. *Павлов И.Н*. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского науч. центра СО РАН, 2006. 359 с. [Pavlov I.N. *Woody Plants in Conditions of Industrial Pollution*. Ulan-Ude: BNTS SB RAS Publ., 2006. 359 p.].

14. Alhalo P.J., Lehto T. Effect of Light Quality on Growth and N Accumulation in Birch Seedlings. *Tree Physiology*. 1997. vol.17, no. pp. 125–132.

15. Chapin et al. The Ecology and Economics of Storage in Plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.,* 1990, vol. 21, pp. 423–447.

16. Evans J.R. Photosynthesis and Nitrogen Relationships in Leaves of $C^3$-plant. *Oecologia,* 1989, vol. 78, pp. 9–19.

17. Erricsson T. Growth and Shoot: Root Ratio of Seedlings in Relation to Nutrient Availability, *Plant and Soil*. 1995, vol. 168-169, pp. 205–214.

18. Ingestad T., Agreen G.I. The Influence of Plant Nutrition on Biomass Allocation. *Ecological Applications,* 1991, no 1(2), pp. 168–174.

19. Karlsson P.S. Nordel K.O. Intraspecific Variation in Nitrogen Status and Photosynthetic Capacity within Mountain Birch Populations. *Holarct Ecol*., 1988, vol. 11, pp. 293–297.

20. Martin Weih, P. Staffan Karlsson. Growth Response of Altitudinal Ecotypes of Mountain Birch to Temperature and Fertilization. *Oecologia,* 1999, vol. 119, pp. 16–23.

## THE CONTENT OF NUTRIENTS IN LEAVES OF WHITE BIRCH TREES IN INTRAZONAL CONDITIONS IN THE NORTHERN URALS

***V.D. Gorbunova,*** *Senior Engineer;*
***S.L. Menshikov,*** *Doctor of Agriculture;*
The Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Botanic Garden, ul. 8 Marta, 202A, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation;
e-mail: botgarden.gor@yandex.ru, m.sergei1951@yandex.ru

The content, individual variability and the ratio of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na) in the leaves of *Betula pendula* Roth.

and *Betula pubescens* Ehrh depending on the intrazonal conditions in the high altitude range of the Northern Urals (Konzhakovsky Kamen' mountain) were studied. Accumulation of the main macronutrients in the leaves of birch trees of the two studied species, the individual variability of the content of macronutrients along the altitude gradient of the Konzhakovsky Kamen' mountain, as well as interspecific differences were revealed. The differences of the two species in the opposite direction of accumulation of macronutrients along the altitudinal gradient were found. An increase in the nitrogen content of the *B. pubescens* leaves with an increase in the height of growth and a decrease in *B. pendula* for both years of the study were revealed. The obtained trends in the content of macronutrients in the leaves of *B. pubescens* and *B. pendula* are probably associated with different physiological mechanisms of plant adaptation to extreme environmental factors. It is assumed that the decrease in the content of macronutrients in *B. pendula* leaves with increasing height is associated with the ecological features of the species. Despite the differences between the two species in the content of total nitrogen and significant variability between years, the ratio of nitrogen to phosphorus and potassium in birch leaves did not significantly differ either between the species or between years. Thus, the percentage ratio of nitrogen was a fairly stable parameter, which did not change over the years, despite the significant difference in the total nitrogen content between the years, where 2008 was significantly higher than 2006. Significant increase in this parameter at higher points and control shows stability within one ecotope only, which indicates the presence of zonal variability, while the between years variability is not expressed, which is also confirmed by two-factor analysis of variance.

***For citation:*** Gorbunova V. D., Menshikov S. L. The Content of Nutrients in Leaves of White Birch Trees in Intrazonal Conditions in the Northern Urals. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal] 2019, no. 6, pp 132–145. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.132

*Keywords:* nitrogen, ratio of nutrients, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, ecological biochemistry.

Поступила 05.06.19 / Received on June 5, 2019

УДК: 634.9:630*907.4
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.146

# РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ОЗЕЛЕНЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ ЮЖНОЙ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ

***А.В. Семенютина, д-р с.-х. наук, проф.;*** *Researcher ID: G-7918-2014, ORCID: 0000-0003-3250-6877*
***Н.Г. Ноянова, аспирант;*** *ORCID: 0000-0003-3349-7458*
Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Университетский просп., д. 97, г. Волгоград, Россия, 400062; e-mail: vnialmi@yandex.ru

Изучение современного состояния озеленения малых городов и разработка основных направлений его совершенствования с учетом климатических и почвенных условий имеет важное научное и практическое значение в малолесных засушливых регионах. Исследования проводили в Волгоградской области в 2012–2018 гг. Климатические ресурсы района (южная сухостепная зона) характеризуются сухим жарким летом, недостатком осадков, широкой амплитудой температур до 80 °С. Почвенный покров со светло-каштановыми почвами в комплексе с солонцами имеет низкие показатели содержания гумуса (1,61…1,89 %), активной влаги и общей пористости. Объекты исследований – зеленые насаждения, произрастающие на урбанизированных территориях малых городов Котельниково, Калач-на-Дону, поселок городского типа Октябрьский. Проведены инвентаризация, оценка и анализ современного состояния растительности, выявлены деструктивные факторы озеленения и особенности функционирования зеленых насаждений в условиях высокой засушливости климата. Установлено, что наряду с созданием новых озеленительных посадок и зеленых зон на современном этапе в реконструкции и восстановлении нуждается 65…70 % существующих насаждений. Это зеленые насаждения общего, специального, ограниченного пользования, в том числе зеленое кольцо, которые были созданы в послевоенные годы и достигли предельного возраста (51…60 лет). Эксплуатация посадок затрудняется в связи с суховершинностью и гибелью значительного (45,7 %) количества деревьев. Естественное старение монокультур *Ulmus pumila* L., *Robinia pseudoacacia* L., гибридов *Populus* и насаждений *Pinus sylvestris* L. (зеленое кольцо) усугубляется недостаточностью ухода и прессингом негативных природных и антропогенных факторов. Незначительный процент (1,6…3,2) площади в озеленении занимают зимостойкие, засухоустойчивые и солеустойчивые насаждения с участием: *Acer ginnala* Maxim., *Acer tataricum* L., *Acer semenovii* Regel, *Sophora japonica* L., *Fraxinus excelsior* L. Установлено, что современные озелененные территории малых городов южной сухостепной зоны характеризуются антропогенно-окультуренными урбаноземами. Для изученных урботерриторий с зелеными насаждениями (Котельниково) характерны низкие показатели общей пористости (45…55 %), наименьшей влагоемкости (20…24 %) и активной влаги (7…14 %). В горизонте А почвы характеризуются низким содержанием гидролизуемого азота (115…125 мг/кг) и подвижного фосфора (13…17 мг/кг); высоким (443…454 мг/кг) – калия, низким – гипса (0,08…0,09 %) в верхней полуметровой толще почв, высокой степенью засоления (1,5…2,0 %) на глубине более 1 м. В искусственных системах озеленения представленных объектов ресурс кустарников представлен незначительно: 5 % видов относительно региональных рекомендаций. В результате значительно снижены архитектурно-художественные качества, утрачены санитарно-гигиенические функции. Наибольший процент (32…38) насаждений изученных объектов малых городов южной сухостепной зоны относится к третьему классу устойчивости. Обоснованы основные направления совершенствования зеленых насаждений в зависимости от их возрастной категории.

Доказана необходимость повышения устойчивости путем расширения биоразнообразия адаптированных деревьев (в 2 раза) и кустарников (в 10 раз). Этапы обновления и обогащения ассортимента включают: 1) подбор адаптированного ассортимента, биологические требования которого соответствуют климатическим, эдафическим и орографическим факторам; 2) повышение декоративной привлекательности с учетом разработанных принципов и подходов оптимизации состава, вертикальной ярусности, видов посадок и их размещения на урбанизированных территориях. Обязательным условием озеленения является полив насаждений. Результаты рекомендованы для использования озеленительными предприятиями, природоохранными службами при планировании, проектировании и реализации мероприятий по реконструкции зеленых насаждений малых городов.

***Для цитирования:*** Семенютина А.В., Ноянова Н.Г. Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 146–159. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.146

***Финансирование:*** Исследования выполнены по теме государственного задания № 0713-2018-0004 ФНЦ агроэкологии РАН.

*Ключевые слова:* озеленение, малые города, сухостепная зона, урбанизация, состояние зеленых насаждений, возрастная структура, адаптированный ассортимент, декоративность.

## *Введение*

Процесс урбанизации в Волгоградской области придает особую актуальность вопросу озеленения населенных пунктов и формированию ландшафтов [9, 10]. Многофункциональная роль зеленых насаждений возрастает в малых городах южной сухостепной зоны. Здесь важное значение отводится созданию максимально благоприятных условий для проживания населения и формированию экологического каркаса озелененных пространств [11, 15].

Засушливый пустынно-степной климат с суховеями и пыльными бурями, (осадков здесь выпадает мало), ухудшение состояния природной среды, антропогенная нагрузка, недостаточное использование адаптированного ассортимента древесных видов являются причиной деградации зеленых насаждений [7, 19]. В малых городах засушливых регионов решению проблемы оптимизации зеленых насаждений в последние десятилетия практически не уделялось внимания.

В настоящее время зеленые насаждения не выполняют своей многофункциональной роли в связи с сокращением их долговечности, ухудшением экологического состояния почвенного покрова и искусственной растительности [3, 5, 6, 9].

В условиях сухой степи оптимальное развитие и проявление декоративных качеств достигают виды, у которых рост, развитие и отношение к лимитирующим факторам соответствует экологическим показателям среды [8, 13].

Пути повышения экологической устойчивости и долговечности насаждений включают мероприятия по обогащению видового состава и технологии их формирования [14, 16, 17, 18].

Цель исследования – изучение современного состояния озеленения малых городов южной сухостепной зоны и разработка основных направлений его совершенствования с учетом климатических и почвенных условий.

*Объекты и методы исследования*

Объекты исследования – зеленые насаждения, произрастающие на урбанизированных территориях малых городов Котельниково, Калач-на-Дону, поселка городского типа Октябрьский.

Котельниково – самый южный город Волгоградской области на левом берегу реки Аксай Курмоярский, расположен в 190 км к юго-западу от Волгограда.

Калач-на-Дону – город Волгоградской области, расположенный в излучине реки Дон, в 80 км западнее Волгограда.

Октябрьский – поселок городского типа, расположенный на реке Аксай Есауловский, в 130 км от Волгограда (рис. 1).

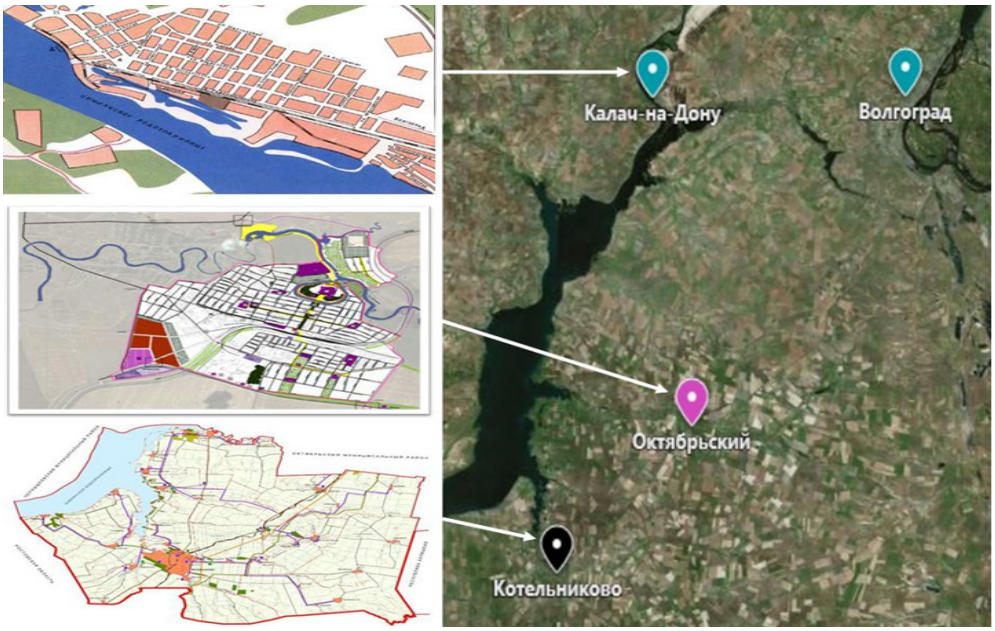



Рис. 1. Расположение и границы генеральных планов объектов исследований

Fig. 1. Location and boundaries of the study objects site-plans

Материал для исследований – существующие деревья и кустарники озелененных территорий. Алгоритм исследований приведен на рис. 2.

Рис. 2. Алгоритм исследований

Fig. 2. Algorithm of the study

Проведен анализ городов с учетом современного свода правил [12]. Использовались общепринятые методики инвентаризации насаждений, определения их состояния, декоративности, агрохимических анализов почвенных образцов с применением статистической обработки экспериментальных данных. Определение площадей территорий осуществлялось с применением ГИС-технологий. Класс устойчивости определялся по методике В.П. Ковтунова [2].

Подбор и расширение ассортимента проводились с учетом климатических и эдафических условий [1, 9, 13].

*Результаты исследования и их обсуждение*

Резкая континентальность климата характеризуется существенно выраженным недостатком поступающей влаги. Среднее многолетнее годовое количество осадков колеблется от 180 до 400 мм. Распределение осадков во время сезона крайне неравномерно. Больше всего осадков бывает в июне (до 42 мм) и менее в марте. Основная их часть выпадает в теплый период (апрель–сентябрь), когда испарение с открытой водной поверхности достигает 1000…1500 мм (рис. 3).

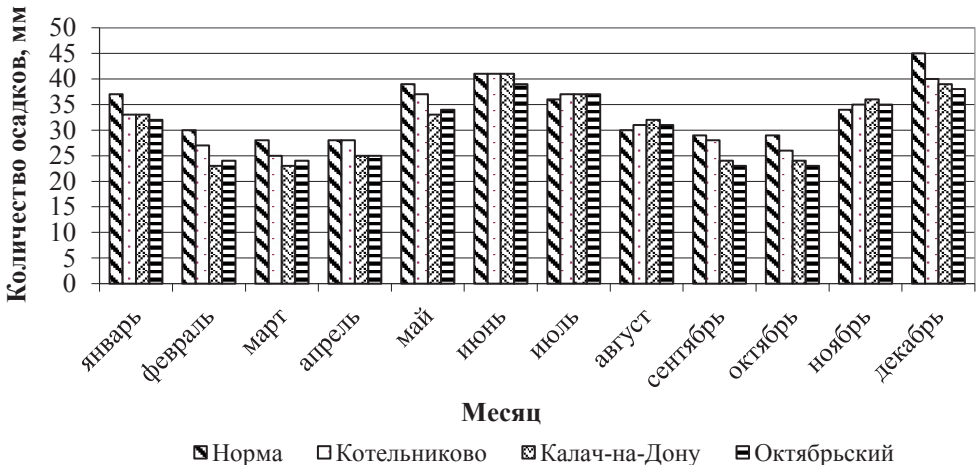



Рис. 3. Среднемесячное количество осадков

Fig. 3. Mean monthly precipitation

Характерными особенностями климата являются малое количество осадков, сухая ветреная весна, продолжительное жаркое лето [7]. Зима умеренно холодная. Средние температуры января −8…−11°С. Лето жаркое, засушливое. Средняя температура +26…+32 °С.

Сложные природные условия негативно влияют на комфортность микроклимата и рост деревьев и кустарников. Неблагоприятные свойства почв подтверждают необходимость тщательного подбора комплексно-устойчивого (к морозам, засухе) ассортимента деревьев, кустарников.

Почвы на представленных объектах урбанизированных территорий неоднократно трансформировались.

Зеленые насаждения, произрастающие на урбанизированных территориях малых городов Котельниково, Калач-на-Дону, поселка городского типа Октябрьский, расположены в зоне каштанового типа почвообразования, подзоне светло-каштановых почв с комплексным формированием почвенного покрова.

Почвенный покров представлен светло-каштановыми в различной степени солонцеватыми почвами.

Почвенные разности характеризуются крайне неблагоприятными в мелиоративном отношении морфологическими и генетическими свойствами: слабо выражен гумусовый (20…30 см) и среднемощный (18…22 см) иллювиальный горизонт; высокое залегание легкорастворимых солей и карбонатов (32…42 см) и довольно низкое гипса (125…135 см); низкие показатели мощности корнеобитаемого слоя (28…38 см).

Водно-физические свойства исследуемых почв отличаются высокой степенью варьирования водных и воздушных показателей (рис. 4).

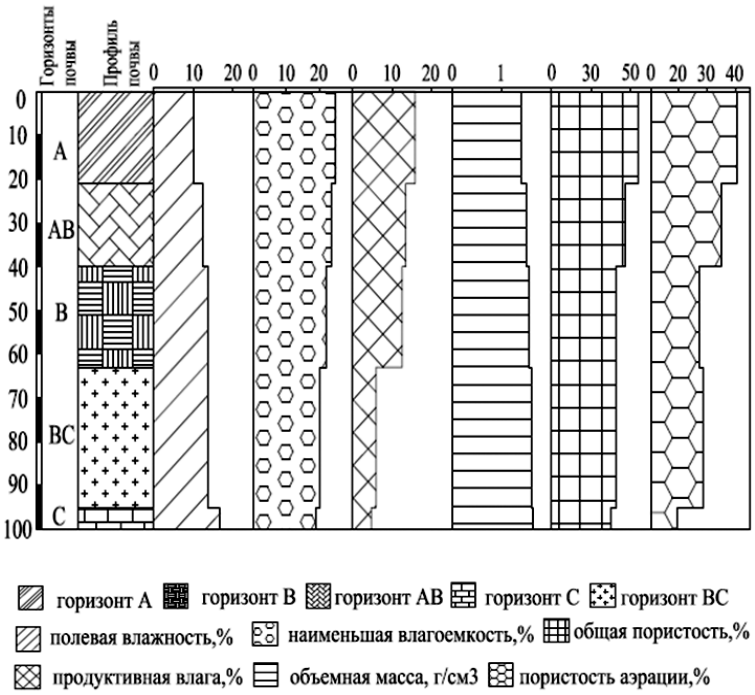



Рис. 4. Водно-физические свойства светло-каштановых почв (Котельниково)

Fig. 4. Hydro-physical properties of the light chestnut soils (Kotel'nikovo)

Особенностью являются довольно низкие показатели общей пористости (45…55 %), наименьшей влагоемкости (20…24 %) и активной влаги (7…14 %).

В горизонте А почвы характеризуются низким содержанием гумуса (1,61…1,89 %), гидролизуемого азота (115…125 мг/кг) и подвижного фосфора (13…17 мг/кг); высоким (443…454 мг/кг) калия; высоким содержанием карбонатов (14…17 %) в подсолонцовом горизонте, низким гипса (0,08…0,09 %) в верхней полуметровой толще почв, низкой емкостью поглощения с высоким содержанием в почвенном поглощающем комплексе обменных магния (37…39 %) и натрия (14…18 %), высокой степенью засоления (1,5…2,0 %) на глубине более 1 м (рис. 5).

Солонцеватость – одно из свойств светло-каштановых почв, вследствие которой растение сталкивается с большими трудностями освоения питательных

веществ, почвы и воды. Солонцеватые разности почв отличаются неблагоприятными для растений физико-химическими свойствами. Засоление почвы в той или иной степени вредно для роста древесных растений при недостаточной влажности. Обязательным условием озеленения является полив насаждений. Реакция почвенного раствора вниз по профилю сдвигается в сторону щелочности.

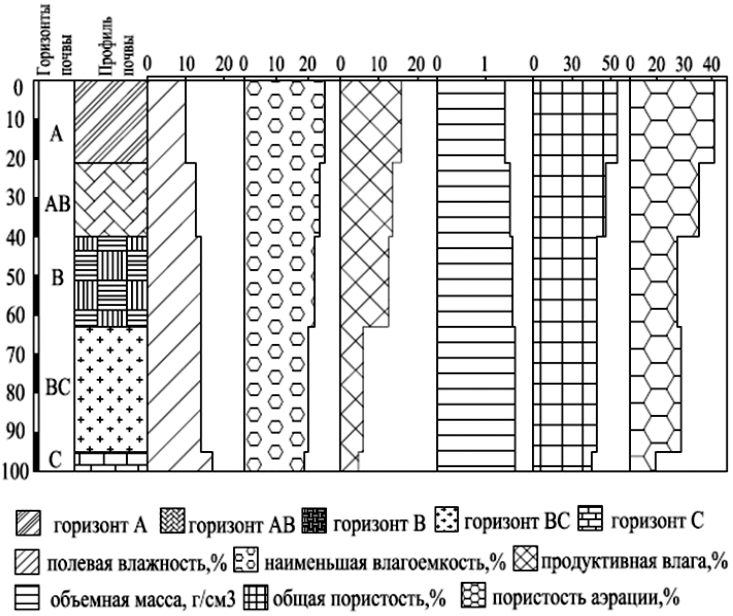



Рис. 5. Состав воднорастворимых солей светло-каштановых почв (Котельниково)

Fig. 5. Composition of the water soluble salts of the light chestnut soils (Kotel'nikovo)

Сравнительная оценка озелененных территорий представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительная оценка озелененных урбанизированных территорий малых городов Котельниково (1), Калач-на-Дону (2), поселка городского типа Октябрьский (3)**

| Озелененные территории малых городов | Площадь, га (%) | |
|---|---|---|
| | парки | бульвары, скверы |
| 1 | 18,6 (51,2) | 17,7 (48,8) |
| 2 | 35,0 (85,4) | 6,0 (14,6) |
| 3 | 1,9 (6,5) | 27,1 (93,5) |

Более высокий процент обеспеченности бульварами, парками, скверами отмечен на урбанизированной территории малого города Калач-на-Дону (рис. 6). Последние сорок лет фиксируется падение темпов озеленения и рост населения и территории застройки в полтора раза.

По рекомендациям нормативов [12] озелененные урбанизированные территории малых городов (Котельниково, Калач-на-Дону) превышают нормативные показатели (рис. 7) за счет наличия зеленых посадок (207,5 и 103,6 га соответственно) – как зеленых зон внегородских территорий.

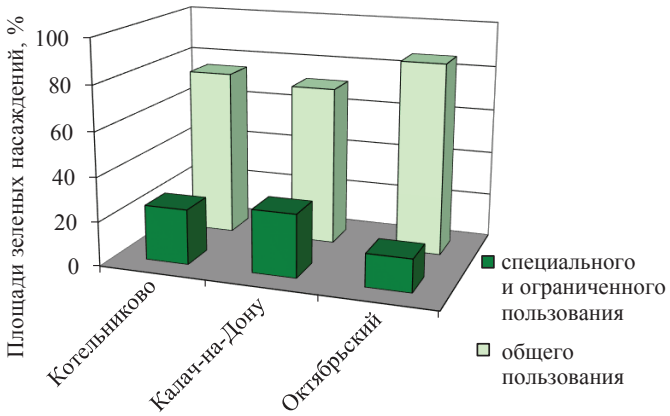



Рис. 6. Распределение зеленых насаждений по функциональному назначению

Fig. 6. Distribution of the green plantings by the functional purpose

Рис. 7. Озеленительные посадки в центре г. Котельниково

Fig. 7. The centrally located green plantings – town of Kotel'nikovo

Быстрорастущие деревья и кустарники имеют преимущество в озеленении для получения полноценного результата в кратчайшие сроки. Экологическая и социальная функция зеленых насаждений с увеличением возраста (50…60 лет) снижается: они стареют, разрушаются и гибнут. Повысить привлекательность объектов озеленения возможно формированием молодых посадок.

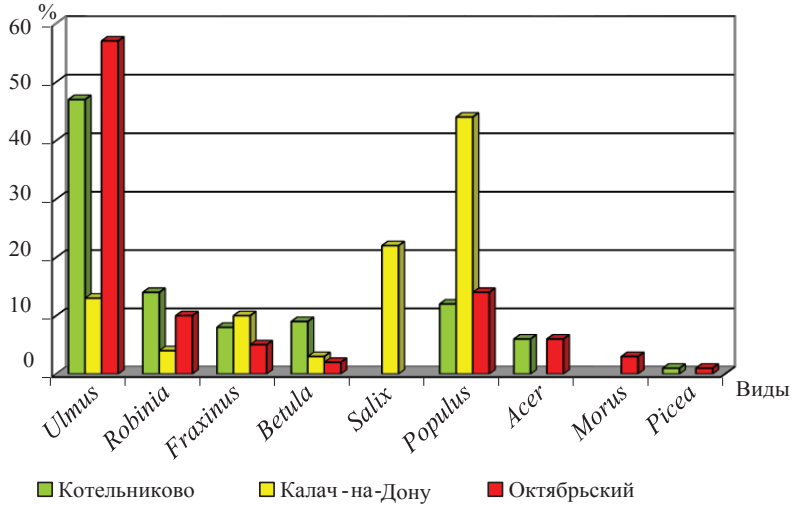



Рис. 8. Видовой состав (%) деревьев в зеленых насаждениях общего пользования

Fig. 8. The species composition (%) of the trees in the common usable urban plantations

Основу озеленения в исследуемых городах составляют 8 видов деревьев: тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* Jabl., *P. berolinensis* Dipp.), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia* L.), вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), клены (*Acer negundo* Maxim., *A. tataricum* L.), ясень зеленый (*Fraxinus lanceolata* Borkh.) (рис. 8). Из кустарников встречаются кизильник блестящий (*Cotoneaster lucidus* Schlecht.), смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.).

В различных почвенно-гидрологических условиях установлены предельные высоты (10,0–17,0 м) наиболее *H* распространенных видов (возраст от 40 до 50 лет). Максимальной высоты достигают деревья *Populus nigra* L. – 15,2–17,3 м (табл. 2) (*A* – возраст; *D* – диаметр).

Таблица 2

**Таксационная характеристика насаждений общего пользования**

| Малые города | Виды деревьев | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Ulmus pumila* | | | *Populus nigra* | | | *Robinia pseudoacacia* | | |
| | *A*, лет | *H*, м | *D*, см | *A*, лет | *H*, м | *D*, см | *A*, лет | *H*, м | *D*, см |
| К* | 45 | 10,2±0,70 | 33,8±2,70 | 49 | 16,4±0,30 | 65,5±0,24 | 37 | 9,7±0,50 | 21,5±3,20 |
| КД | 48 | 11,3±0,35 | 35,6±1,40 | 47 | 15,2±0,60 | 64,6±0,43 | 25 | 6,9±0,40 | 13,6±0,90 |
| О | 50 | 9,8±0,27 | 34,7±2,80 | 50 | 17,3±1,30 | 66,2±0,57 | 47 | 13,8±0,25 | 15,8±1,00 |

| Малые города | Виды деревьев | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Fraxinus excelsior* | | | *Betula pendula* | | |
| | *A*, лет | *H*, м | *D*, см | *A*, лет | *H*, м | *D*, см |
| К* | 44 | 13,2±1,60 | 37,7±1,90 | 23 | 7,7±0,80 | 23,4±1,60 |
| КД | 36 | 10,7±0,55 | 34,7±2,10 | 20 | 8,7±0,60 | 18,5±1,00 |
| О | 40 | 12,6±0,80 | 36,2±1,60 | 34 | 8,5±0,60 | 23,9±1,20 |

*К – Котельниково, КД – Калач-на-Дону, О – Октябрьский

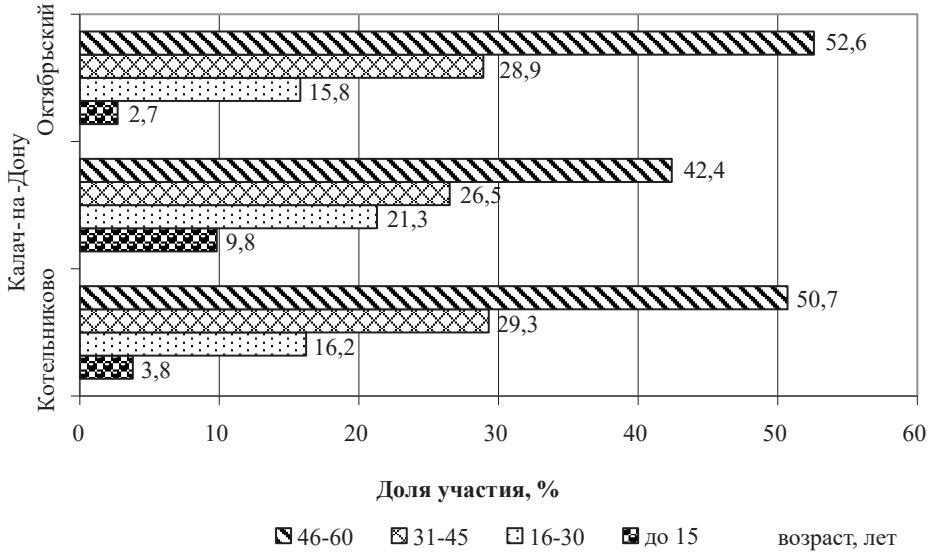
Инвентаризация городских насаждений показала, что вяз приземистый составляет 55 % всех насаждений (рис. 9).

Рис. 9. Уличные посадки с участием *Ulmus pumila* L. (Октябрьский)

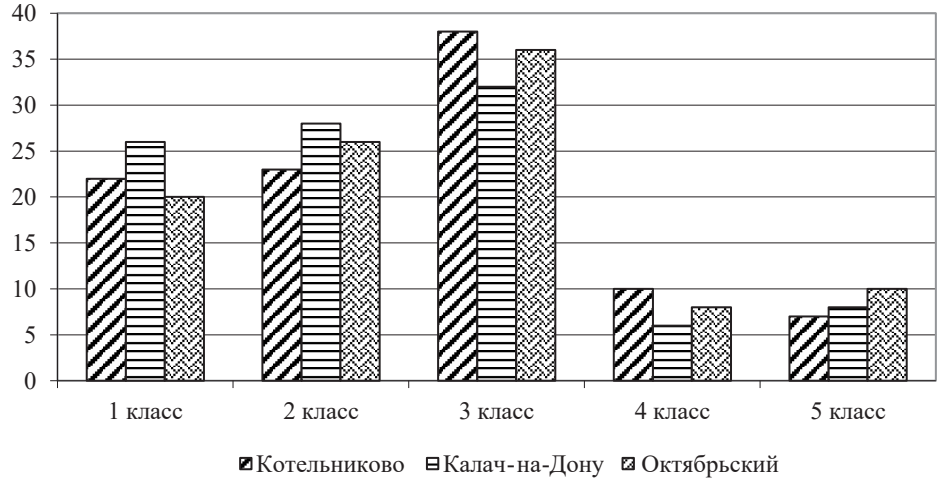
Fig. 9. The street plantings consisting of *Ulmus pumila* L. (Oktyabr'skiy)

Изучение архивных материалов дает возможность обозначить точный возраст наибольшей части насаждений – 60-е гг. XX в. Основу зеленых насаждений составляет категория 31–60-летних (рис. 10, *а*).

Быстрое старение зеленого фонда городов ухудшает и качественное состояние насаждений. Отнесение насаждений к той или иной категории состояния проводилось по шкале устойчивости насаждений (рис. 10, *б*).




*а*




*б*

Рис. 10. Процентное соотношение насаждений по возрастным категориям (*а*) и классам устойчивости (*б*)

Fig. 10. The percentage ratio of the stands by the age categories *(a)* and classes of sustainability (*б*)

Наибольший процент насаждений относится ко второму и третьему классу устойчивости. Насаждения третьего класса – с выраженными признаками замедления роста и развития части деревьев. Для повышения жизнеустойчивости требуется проведение выборочной санитарной рубки.

Сухая степь, в которой расположены объекты исследований, с ее значительной сухостью воздуха и почвы, высокой интенсивностью солнечной радиации, представляет собой сложную зону для жизни древесных растений. При поливе действие засухи несколько снижается. Однако атмосферная засуха является одним из факторов, затрудняющих введение древесных растений в районах с жарким и сухим климатом.

Рост и развитие у деревьев и кустарников здесь имеют свои особенности:

- у деревьев и кустарников (в зависимости от принадлежности к таксонам) стабилизация прироста наступает в 3–8 лет;
- рост приурочен к наиболее благоприятному весеннему сезону и заканчивается с наступлением жарких дней в июле;
- для деревьев и кустарников характерно быстрое развитие и раннее вступление в стадию плодоношения (для деревьев на 4–6-й год, для кустарников – 2–3-й год);
- у многих древесных видов декоративность проявляется к 3–5 годам с максимальным эффектом весной (май-июнь);
- в южной сухостепной зоне недостаток влаги (почва, воздух) обуславливают низкоствольность, сучковатость, развитие большого количества скелетных ветвей.
- у двудомных древесных растений хорошо выражены половые различия (тополя, ясень зеленый, бархат амурский и др.). Мужские особи более устойчивы и на 1,5…2,0 м выше женских и не засоряют улицы плодами, семенами.

Для формирования устойчивых и декоративных насаждений необходимо выполнение комплекса мероприятий с соблюдением баланса территорий и соответствия почвенным условиям.

Данные по оценке устойчивости показывают, что виды неоднородны по степени устойчивости. В связи с этим возникает необходимость классифицировать виды, сорта и формы растений на ряд групп и среди них осуществлять подбор видов [4].

Отпад растений после посадок наблюдается при отсутствии достаточного полива и неправильного подбора ассортимента, без учета соответствия эколого-биологических особенностей видов условиям произрастания.

На основе экспериментальных данных разработаны этапы повышения экологической и декоративной долговечности зеленых насаждений урбанизированных территорий малых городов южной сухостепной зоны:

– проведение поэтапного обновления и формирования озелененных территорий с учетом ассортимента, фактора времени, динамики роста растений, декоративности и целевого назначения;

– реконструкция и повышение разнообразия кустарников в посадках (куртины, группы, зеленые изгороди, газонные покрытия и др.);

– устройство малых архитектурных форм (скамеек, беседок, мостиков, лестниц) в соответствии со стилевым решением, организацией поливочного водопровода, освещения территории, подсветки зелени и памятников.

Таким образом, экологическая и декоративная долговечность озелененных урбанизированных территорий малых городов южной сухостепной зоны Волгоградской области достигается повышением разнообразия видов и типов насаждений. Подбор устойчивого состава растений должен базироваться на

объективной оценке соответствия эколого-биологических особенностей видов условиям произрастания.

*Заключение*

Климатические и почвенные условия засушливых территорий (Волгоградская область) оказывают негативное влияние на современное состояние озеленения малых городов южной сухостепной зоны.

Незначительное место в озеленении занимают зимостойкие, засухоустойчивые и солеустойчивые насаждения с участием: *Acer ginnala* Maxim., *Acer tataricum* L., *Acer semenovii* Regel, *Sophora japonica* L., *Fraxinus excelsior* L.

Следует обратить внимание на хвойные виды (*Pinus pallasiana* D. Don, *Pinus sylvestris* L., *Picea pungens* Engelm *f. glauca* Beissn., *Juniperus virginiana* L., *Juniperus sabina* L., *Thuja occidentalis* L., *Platycladus orientalis* (L.)Franco), которые перспективны для озеленения городов и поселков благодаря своей устойчивости и декоративности.

Большую роль в озеленении сухостепного региона играют кустарники всех классов роста, имеющие высокую степень толерантности к низким и высоким температурам, к сожалению, они остаются почти неиспользованными в озеленении: виды *Philadelphus*, *Rosa*, *Caragana arborescens* Lam., *Syringa vulgaris* L., *Cotoneaster lucidus* Schlecht., *Lonicera tatarica* L., *Ligustrum vulgare* L., различные виды *Spiraea*.

Устойчивость и комфортность озелененных территорий во многом зависит от степени толерантности видов к стресс-факторам, их состава в искусственных фитоценозах, смешения и размещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Каталог древесных растений для питомниководства Волгоградской области / А.В. Семенютина [и др.]: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620060; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 13.01.2015. [*The Catalogue of the Ligneous Plants for Nursery Operations in the Volgograd Region.* A.V. Semenyutina et al. Certificate of the Database State Registration No. 2015620060 dd. 13.01.2015].

2. *Ковтунов В.П.* Особенности лесоустройства лесов зеленых зон. М.: Гослесбумиздат, 1962. 137 с. [Kovtunov V.P. *Characteristic Property of the Green Zones Forests Husbandry.* Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 137 p.].

3. *Кругляк В.В., Семенютина А.В., Гурьева Е.И.* Модели архитектоники рекреационных насаждений для адаптивных систем озеленения // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. 2017. № 3. С. 108–112. [Kruglyak V.V., Semenyutina A.V., Gur'eva E.I. The Models of Architectonics of the Recreational Stands for Adaptive Greening Systems. *Bulletin of the Voronezh State University. Issue: Geography. Geoecology*. 2017, no. 3, pp. 108–112].

4. Мероприятия по формированию биоразнообразия посадочного материала хозяйственно ценных деревьев и кустарников для малолесных регионов: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620356; дата гос. регистрации в Реестре баз данных 17 марта 2016 г. / Семенютина А.В., Кулик К.Н., Свинцов И.П., Костюков С.М., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А. [*Procedures of Forming of the Biodiversity of the Planting Material of the Economically Valuable Trees and Brushes for the Sparsely Forested Regions.* Semenyutina A.V., Kulik K.N., Svintsov I.P., Kostyukov S.M.,

Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Certificate of the State Database Registration No. 2016620356 dd. 17.03.2016].

5. *Нефедов В.А.* Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб., 2002. 295 с. [Nefedov V.A. *Landscape Design and Sustainability of the Environment.* Saint Petersburg, 2002. 295 p.].

6. *Рунова Е.М., Гнаткович П.С.* Перспективы рекреационного использования городских лесов селитебной территории Братска // Лесн. журн. 2015. № 3. С. 43–52. (Изв. высш. учеб. заведений). [Runova E.M., Gnatkovich P.S. Prospects of Recreational Usage of the Urban Forests at the Residential Area of Bratsk. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2015, no 3, pp. 43–52].

7. *Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И.* Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. 306 с. [Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasil'yev Yu.I. *Weather and Climate of the Volgograd Region*. Volgograd, *VNIALMI*, 2010. 306 p.].

8. *Семенютина А.В., Подковыров И.Ю., Таран С.С.* Эффективность использования кластерного метода при анализе декоративных достоинств озеленительных насаждений // Глобальный научный потенциал. 2014. № 7(40). С. 48–51. [Semenyutina A.V., Podkovyrov I.Yu., Taran S.S. Efficiency of the Claster Method For Purpose of Analysis of Decorative Features of the Green Plantations. *Global'nyj Nauchnyj Potentsial,* 2014, no. 7(40), pp. 48–51].

9. *Семенютина А.В., Подковырова Г.В.* Оптимизация видового состава древесных растений в рекреационно-озеленительных насаждениях сухой степи // Вестн. ОрелГАУ. 2011. № 5(32). С. 129–131. [Semenyutina A.V., Podkovyrova G.V. Optimization of the Species Composition of the Tree Plants in the Recreational-Greening Plantations in an Arid Steppe. *Vestnik Orlovskogo GAU*, 2011, no. 5(32), pp. 129–131].

10. *Сергиенко Л.И., Подколзин М.М.* Зеленое строительство как элемент устойчивого развития России // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 1. С. 18–23. [Sergienko L.I., Podkolzin M.M. Landscape Gardening as an Element of the Sustainable Development of Russia. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy,* 2010, no. 1, pp. 18–23].

11. *Сокольская О.Б.* Особенности построения и оптимизация модели ландшафтно-планировочной структуры рекреационной зоны // Лесное хозяйство Поволжья: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Саратов: Науч. книга, 2007. С. 143–146. [Sokol'skaya O.B. Characteristic Properties of Design and Optimization of a Model of Landscape-Planning Pattern of a Recreational Zone. Saratov, *Nauchnaya kniga,* 2007, pp. 143–146].

12. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89». Утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 № 820. [*Code of Practice 42.13330.2011 "Urban Development. Planning and Construction of the Urban and Rural Settlements. Updated Construction Rules and Regulations 2.07.01-89*].

13. *Терешкин А.В., Андрушко Т.А., Петров В.И., Семенютина А.В.* Биоэкологическая эффективность применения кустарников в насаждениях зеленых зон населенных пунктов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер.: Естественные и технические науки. 2015. № 9–10. С. 51–63. [Tereshkin A.V., Andrushko T.A., Petrov V.I., Semenyutina A.V. Biological Efficiency of Applying of Shrubs at the Green Plantings in the Residential Areas. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki,* 2015, no. 9–10, pp. 51–63].

14. *Теодоронский В.С., Жеребцова Г.П.* Озеленение населенных мест: градостроительные основы. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 256 с. [Teodoronskij V.S., Zherebtsova G.P. G*reening of the Residential Areas: Urban Development Basic Principles.* Moscow, Academia Publ., 2010. 256 p.].

15. *Фирсова Н.В., Кругляк В.В.* Закономерности размещения городов в системе лесных комплексов Центрально-Черноземного региона // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: География. Геоэкология. 2011. № 2. С. 26–32. [Firsova N.V., Kruglyak V.V. Regularities of

Deployment of the Residential Areas in the System of the Forest Complexes of the Central Nonchernozem Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya,* 2011, no. 2, pp. 26–32].

16. Konijnendijk C.C. *Urban Forest and Trees: A Reference Book.* Berlin, Springer-Verlag, 2005. 505 p.

17. Semenyutina A.V., Podkovyrov I.Y., Huzhahmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Podkovyrova G.V. Mathematical Justification of the Selection of Woody Plants Biodiversity in the Reconstruction of Objects of Gardening. *International Journal of Pure and Applied Mathematics,* 2016, vol. 110, no. 2, pp. 361–368.

18. Semenyutina A.V., Podkovyrova G.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Svintsov I.P., Semenyutina V.A., Podkovyrov I.Yu. Engineering Implementation of Landscaping of Low-forest Regions. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology,* 2018, vol. 9, iss. 10, pp. 1415–1422.

19. Shchepeleva A.S., Vasenev V.I., Mazirov I.M., Vasenev I.I., Prokhorov I.S., Gosse D.D. Changes of Soil Organic Carbon Stocks and $CO_2$ Emissions at the Early Stages of Urban Turf Grasses' Development. *Urban Ecosystems,* 2017, vol. 20, no. 2, pp. 309–321.

## REGIONAL SPECIFICITY OF URBAN GREENING AT THE RESIDENTIAL AREAS OF THE SOUTHERN ARID STEPPE ZONE

***A.V. Semenyutina**, Doctor of Agriculture, Professor; Researcher ID: G-7918-2014, ORCID: 0000-0003-3250-6877*
***N.G. Noyanova**, Postgraduate Student; ORCID: 0000-0003-3349-7458*
Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences, prosp. Universitetskiy, 97, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: vnialmi@yandex.ru

The study of the current state of urban greening at the towns and development of the basic directions of its improvement, taking into account climatic and soil conditions, is of great scientific and practical importance in the sparsely forested aridity regions. Studies were conducted in the Volgograd region in 2012–2018. The climatic resources of the region (southern dry steppe zone) are characterized by dry, hot summer, lack of precipitation, a wide range of temperatures up to 80 °C. The soil cover of light chestnut soils in combination with salt licks has a low humus content (1.61–1.89 %), active moisture and total porosity. The objects of research are the green plantings at the urbanized territories of the towns of Kotel'nikovo, Kalach-on-Don and the Oktyabrskiy urban-type settlement. An inventory was carried out, the destructive factors of horticulture, the current state of the vegetation and the characteristics of greenery in conditions of high aridity of the climate were revealed. It has been established that along with the creation of new landscape plantings and green areas at the present stage, it is necessary to reconstruct and restore 65–70 % of the existing plantings. These are green spaces of general, special, limited use, including the green ring, which was created in the postwar years and reached the age limit (51–60 years). The planting operation is difficult because of the dry top and the death of a significant (45.7 %) number of trees. The natural aging of Ulmus pumila L., Robinia pseudoacacia L., hybrids and plantings of Populus Pinus sylvestris L. (green ring) is aggravated by the lack of care and the pressure of negative natural and anthropogenic factors. A small percentage (from 1.6 to 3.2) of the area in landscaping is occupied by winter-hardy, resistant to external influences and salt-tolerant plantings involving: Acer ginnala, Acer tataricum, Acer semenovii, Sophora japonica, Fraxinus excelsior. It has been established that modern green zones of small cities in the southern dry-steppe zone are characterized by anthropogenically-cultivated urbanozems. The studied urban areas with greenery (Kotelnikovo) are characterized by low total porosity (45–55 %), the lowest moisture capacity

(20–24 %) and active humidity (7–14 %). In horizon A, soils are characterized by a low content of hydrolyzable nitrogen (115–125 mg/kg) and mobile phosphorus (13–17 mg/kg); high (443–454 mg/kg) potassium, low gypsum content (0.08–0.09%) in the upper half-meter thicker, higher degree of salinity (1.5–2.0 %) at a depth of more than 1 m. In artificial landscaping systems of represented objects, the resource of shrubs is represented slightly: five percent of species compared to regional recommendations. As a result, architectural and artistic qualities were significantly reduced, sanitary and hygienic functions were lost. The largest percentage (32–38) of plantings of the studied objects of small cities of the southern dry-steppe zone belongs to the third class of resistance. The main directions for the improvement of green spaces, depending on their age group, are substantiated. Proved the need to improve sustainability by expanding the biodiversity of adapted trees (2 times) and shrubs (10 times). The stages of updating and enrichment of the range include: 1. The choice of an adapted range in accordance with the biological requirements of climatic, edaphic and orographic factors; 2. Increase the decorative attractiveness in view of the developed principles and approaches to optimizing the composition, vertical tier, types of plantings and their placement in urban environments. A prerequisite for gardening is watering plantations. The results are recommended for use in planting plants, environmental services in the planning, development and implementation of measures for the reconstruction of green spaces of small cities.

***For citation:*** Semenyutina A.V., Noyanova N. G. Regional Specificity of Urban Greening at the Residential Areas of the Southern Arid Steppe Zone. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 146–159. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.146

***Funding:*** The study was carried out on the subject of the State assignment No. 0713-2018-0004 of FSC Agroroecology RAS.

*Keywords*: towns, urbanization, landscape design, state of greenery, age structure, adapted assortment, creativity, dry steppe zone.

Поступила 13.05.19 / Received on May 13, 2019

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 634.0.3
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.160

# МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ И РАЗМЕРОВ ГРУЗОВОГО ОТСЕКА ЛЕСНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

***И.Р. Шегельман*[1]*, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: P-9793-2019; ORCID: 0000-0001-5133-4586*
***П.В. Будник*[1]*, канд. техн. наук, начальник отдела защиты интеллектуальной собственности и изобретательства;*** *ResearcherID: E-1782-2015; ORCID: 0000-0002-8701-4442*
***В.Н. Баклагин*[2]*, канд. техн. наук, науч. сотр.;*** *ResearcherID: M-2265-2016; ORCID: 0000-0002-0060-1653*
[1]Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: shegelman@onego.ru, budnikpavel@yandex.ru
[2]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, просп. Александра Невского, д. 50, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030; e-mail: slava.baklagin@mail.ru

Цель исследования заключалась в формировании объективной информации о массе транспортируемой пачки лесоматериалов для лесопромышленных предприятий и производителей лесных машин, способствующей рациональному выбору конкретных моделей форвардеров и обоснованию их основных параметров для природно-производственных условий Северо-Западного федерального округа. Исследование основано на компьютерном эксперименте и значительном объеме фактических данных о формах стволов деревьев, полученных при помощи средств объективного контроля харвестеров. Место сбора фактических данных о формах стволов – Республика Карелия. Рассматривались следующие модели форвардеров: John Deere 1210E, John Deere 1110E, Ponsse Elk, Ponsse Wisent, Амкодор 2661-01, Rottne F13D, Rottne F15D, Rottne F18D. Результаты показали, что масса пачки лесоматериалов изменяется в широких пределах. В среднем масса пачки, сформированной из елового пиловочника длиной 6,1 м составляет 4,5 т, из елового баланса длиной 4,0 м – 2,8 т. При транспортировке пачки длиной 4,0 м все рассмотренные модели имеют запас по грузоподъемности, при транспортировке пачки из пиловочника длиной 6,1 м все модели форвардеров работают с недостаточной грузоподъемностью. Установлено, что при площади поперечного сечения грузового отсека 4,0 м$^2$ грузоподъемность модели должна быть не менее 16 т, при площади 4,8 м$^2$ – не менее 19 т. При транспортировке пачки, составленной из сортиментов длиной 6,1 м, необходимо загружать грузовой отсек форвардеров не более чем на 3/4, что позволит с высокой вероятностью исключить превышение рейсовой нагрузки над номинальной грузоподъемностью лесной транспортной машины.

***Для цитирования:*** Шегельман И.Р., Будник П.В., Баклагин В.Н. Методика компьютерного эксперимента при определении грузоподъемности и размеров грузового отсека лесной транспортной машины // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 160–173. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.160

***Финансирование:*** Работа выполнена в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых по проекту «Разработка среды конструкторского проектирования оптимальных параметров технологического оборудования лесных многооперационных машин» (МК-5321.2018.8).

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, компьютерный эксперимент, масса пачки, грузоподъемность, лесосечные работы, форвардер.

## *Введение*

В Европе и европейской части России широкое распространение получила сортиментная заготовка древесины [13, 14, 28]. В Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) и Скандинавских странах преимущественно используются две основные схемы сортиментной заготовки с применением полностью механизированной системы или бензомоторных пил [13, 14, 35]. Для обеих схем базовой машиной является форвардер, причем выполняемые им операции наиболее трудоемкие и дорогостоящие [23].

Проведенные исследования свидетельствуют, что производительность форвардера очень зависит от параметров рейсовой нагрузки [9, 25, 29]. Известно, что при увеличении расстояния транспортировки влияние параметров пачки лесоматериалов (массы, объема, числа сортиментов) на производительность лесной техники возрастает. Форвардер в зависимости от массы рейсовой нагрузки может наносить существенный ущерб почве [7, 8, 11, 17, 19, 33–36]. Множество публикаций касаются экологических аспектов, в частности расхода топлива, энергоэффективности и выбросов выхлопных газов [12, 18–22, 26]. Расход топлива, а соответственно и выбросы выхлопных газов, зависят от массы пачки лесоматериалов.

Кроме того, исследование влияния массы пачки форвардера важно для оценки проходимости [3] и обеспечения надежности конструкции машины [16]. В последнем вопросе значимой проблемой является обоснование выбора лесной техники необходимой грузоподъемности для определенных природно-производственных условий. Перегрузка машины негативно отражается на компонентах ходовой части и приводит к их преждевременному выходу из строя. Как правило, исследование массы пачки сводится или к ее примерной оценке (например, путем визуальной оценки объема и последующего определения массы), или к ее немногократному измерению.

Цель исследования заключалась в формировании объективной информации о массе транспортируемой пачки лесоматериалов, способствующей рациональному выбору лесопромышленными предприятиями конкретных моделей форвардеров и режимов их работы в природно-производственных условиях СЗФО, а также необходимой для производителей лесной техники при обосновании основных параметров форвардеров в процессе совершенствования их конструкций.

## *Объекты и методы исследования*

Для оценки массы пачки лесоматериалов собирались данные о формах стволов деревьев. Источниками данных являлись сведения, полученные с помощью средств объективного контроля харвестеров на лесосеках Республики Карелия, являющихся типичными для СЗФО. На основе этих сведений был сформирован банк данных, содержащий информацию о 53 911 стволах.

Информация формировалась в виде значений диаметров, замеренных через каждые 10 см длины ствола.

Предварительный анализ сортиментных планов лесозаготовительных предприятий в СЗФО, а также требований деревообрабатывающих и лесохимических предприятий показал, что наиболее часто производятся следующие виды сортиментов: хвойный пиловочник длиной 6,1 м; хвойный баланс длиной 4,0 м; лиственные дрова длиной 5,0 м. Нами изучены параметры полногрузных пачек лесоматериалов, сформированных из елового пиловочника длиной 6,1 м (лесоматериал № 1) и елового баланса длиной 4,0 м (лесоматериал № 2).

В рамках данного исследования рассматривались наиболее часто используемые в европейской части России модели форвардеров (табл. 1).

Таблица 1

**Технические характеристики форвардеров**

| Модель | Грузоподъемность, т | Площадь поперечного сечения грузового отсека, м$^2$ |
|---|---|---|
| John Deere 1210E | 13 | 4,0 |
| John Deere 1110E | 12 | 4,0 |
| Ponsse Elk | 13 | 4,5 |
| Ponsse Wisent | 12 | 4,5 |
| Амкодор 2661-01 | 12 | 4,4 |
| Rottne F13D | 14 | 4,7 |
| Rottne F15D | 15 | 4,8 |
| Rottne F18D | 18 | 4,8 |

Оценка вариации массы пачки лесоматериалов для форвардера требует большого числа измерений (сотни измерений на 1 параметр). Поэтому в основу данного исследования был положен метод компьютерного эксперимента, основанного на разработанной имитационной модели. В лесной науке подобные модели широко используются в качестве альтернативы натурным экспериментам [30–32, 37].

Имитационная модель реализована в виде программы (приложения Windows) с использованием синтаксиса языка C#. На основе данной модели имитировался процесс формирования пачки, состоящей из заданного вида лесоматериалов. Входными данными для компьютерного эксперимента служили: характеристики формы стволов; параметры загружаемых сортиментов (порода, длина, ограничения диаметров в верхнем и нижнем отрезах); параметры грузовой платформы; режим загрузки, расстояние от щита грузового отсека до ближайшего коника. Компьютерный эксперимент проводился 10 тыс. раз для каждого сочетания входных параметров. После его завершения осуществлялась статистическая обработка результатов расчета.

Схема компьютерного имитационного эксперимента включала следующие этапы:

1 – генерация таксационных характеристик ствола дерева;

2 – моделирование параметров лесоматериала;

3 – моделирование процесса укладки лесоматериала в грузовой отсек;

4 – расчет массы пачки лесоматериалов.

Первые три этапа повторялись до получения полногрузной пачки лесоматериалов (под полногрузной пачкой понимается загрузка грузового отсека

форвардера на высоту стоек коников). На этапе 1 случайным образом из банка стволов выбирался один ствол, на этапе 2 осуществлялись проверка возможности получения заданного лесоматериала из выбранного ствола и определение его параметров. Получаемый лесоматериал представлялся в виде набора идеальных усеченных конусов, высота которых составляла 10 см или менее для конусов, расположенных на краях лесоматериала. Параметры лесоматериала: количество конусов и диаметры их оснований. На этапе 2 рассчитывался объем лесоматериала в коре ($Q_{log}$), масса ($M_{log}$), диаметры в нижнем ($d_{lower}$) и верхнем ($d_{upper}$) отрезах.

Для моделирования параметров лесоматериалов № 1 и 2 применялись различные алгоритмы. Необходимость использования отдельного алгоритма для лесоматериала № 2 обусловлена тем, что на практике обычно не допускается выпиливание баланса из комлевой части ствола.

При расчете $Q_{log}$ и $M_{log}$ использованы следующие математические выражения:

$$Q_{log} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\pi h_i (d_{1,i}^2 + d_{1,i} d_{2,i} + d_{2,i}^2)}{12}; \quad (1)$$

$$Q_{bark} = Q_{log} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\pi h_i ((d_{1,i} - k)^2 + (d_{1,i} - k)(d_{2,i} - k) + (d_{2,i} - k)^2)}{12}; \quad (2)$$

$$Q_{wood} = Q_{log} - Q_{bark}; \quad (3)$$

$$M_{log} = Q_{wood} \frac{\int_{l_1}^{l_2} \rho(L) dL}{l_2 - l_1} + \rho_b Q_{bark}; \quad (4)$$

$$k = a + b d_k \quad (5)$$

$$\rho(L) = 1{,}0262\ (1 + 0{,}01W)\ (AL^3 + BL^2 + CL + D). \quad (6)$$

Здесь $n$ – количество усеченных конусов, приходящихся на лесоматериал; $h_i$ – высота $i$-го усеченного конуса ($h_i$ = 10 см, за исключением крайних конусов в лесоматериале, для которых $h_i$ определяется интерполяцией); $d_{1,i}$ – диаметр нижнего основания $i$-го усеченного конуса, для $i = \overline{1,n}$; $d_{2,i}$ – диаметр верхнего основания $i$-го усеченного конуса, для $i = \overline{1,n}$; $Q_{bark}$ – объем коры в лесоматериале; $Q_{wood}$ – объем лесоматериала без коры; $l_1$ – расстояние от комля выбранного ствола до нижнего основания первого усеченного конуса в лесоматериале; $l_2$ – расстояние от комля выбранного ствола до верхнего основания последнего усеченного конуса в лесоматериале; $\rho(L)$ – средняя плотность свежесрубленной древесины ели на расстоянии $L$; $L$ – расстояние от комля выбранного ствола; $\rho_b$ – средняя плотность коры свежесрубленной древесины ели; $k$ – двойная толщина коры; $a$ и $b$ – коэффициенты линейного уравнения для расчета $k$; $d_k$ – диаметр в коре; $W$ – влажность древесины; $A$, $B$, $C$ и $D$ – коэффициенты уравнения для расчета $\rho(L)$.

При расчете $k$ по выражению (5) для Республики Карелия приняты следующие значения коэффициентов: $a$ = 0,206 и $b$ = 0,0356. Выражение (5) и значения коэффициентов $a$, $b$ приняты согласно ГОСТ 32594–2013.

Выражение (6) получено на основе работ [1, 2, 5]. Коэффициенты $A$, $B$, $C$ и $D$ для ели в свежесрубленном состоянии при средней влажности 91 % приняты соответственно: 0,000105; –0,005; –0,35; 380. В данном исследовании для ели $\rho_b$ =1239 кг/м$^3$ [6].

Этап 3 заключался в моделировании укладки в грузовой отсек сечения лесоматериала, расположенного на уровне ближайшего к щиту коника.

Определение размеров сечения осуществлялось с учетом того, что лесоматериалы размещаются в грузовом отсеке комлями в разные стороны, причем лесоматериалы из одного ствола укладывались комлями в одну сторону.

На этапе 4 вычислялась масса ($M$) полногрузной пачки лесоматериалов как сумма $M_{log}$ всех лесоматериалов, входящих в сформированную пачку.

На этапе 5 осуществлялось построение вариационных кривых для $M$, а также рассчитывались среднее значение и размах выборки. Кроме того, определялись конкретные значения при интегральной функции распределения $F(M)$ = 0,9 и 0,99.

Грузовой отсек форвардера представляет собой полураму, на которой установлены щит и коники. Объем перевозимых лесоматериалов в грузовом отсеке определяется высотой стоек коников. Формально коник представляется как совокупность элементов, характеризующих форму его внешней поверхности (рис. 1).

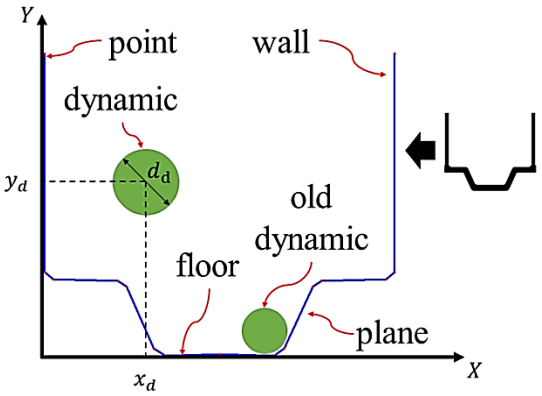



Рис. 1. Схема представления коника в имитационной модели

Fig. 1. The representation scheme of a truck bolster in a simulated model

Для описания формы коника использовались следующие элементы: «wall» (вертикальный отрезок); «floor» (горизонтальный отрезок); «plane» (наклонный отрезок); «point» (точка соединения элементов). Каждому элементу присваивались координаты в декартовой системе координат. Лесоматериал представлялся элементом «dynamic» и характеризовался координатами центра ($x_d$, $y_d$), диаметром ($d_d$) и окружностью с функцией $(x - x_d)^2 + (y - y_d)^2 = d_d^2/4$. Параметр $d_d$ определялся диаметром поперечного сечения лесоматериала, расположенного на заданном расстоянии от его края ($\alpha$), величина $\alpha$ – как расстояние от щита до ближайшего коника для соответствующей модели форвардера.

Моделирование процесса укладки лесоматериала в грузовой отсек форвардера заключалось в имитации движения поперечного сечения лесоматериала в площади коника на основе заданных математических выражений, описывающих законы взаимодействия сечения с другими элементами системы. Погрузка моделировалась поштучно, при этом был разработан алгоритм, обеспечивающий равномерную загрузку грузового отсека форвардера.

Моделирование осуществлялось с шагом $\Delta y$ = 1 мм. На каждом шаге моделирования проверялись условия столкновения элемента «dynamic» с другими элементами в следующей последовательности: «floor», «point», «plane», «old dynamic». Если взаимодействия не происходило, сечение (элемент

«dynamic») продвигалось в том же направлении на $\Delta y$. Если взаимодействие с элементом происходило, то сечение получало точку опоры и далее начинало двигаться по элементу с шагом $\Delta y$. На каждом шаге осуществлялась проверка взаимодействия с другими элементами. При взаимодействии сечения со вторым элементом выполнялась проверка условия устойчивости. В случае удовлетворения условию устойчивости сечение останавливалось. После чего генерировалось новое сечение и цикл возобновлялся. Если условие равновесия не выполнялось, то сечение меняло точку опоры на точку взаимодействия с элементом, с которым столкнулось, и начинало двигаться вдоль (или вокруг) данного элемента. Если при очередном смещении сечения вдоль элемента на $\Delta y$ переставало действовать условие взаимодействия и выполнялось условие отрыва, то происходил отрыв сечения от элемента и его последующее свободное падение (движение вдоль оси $y$).

*Результаты исследования и их обсуждение*

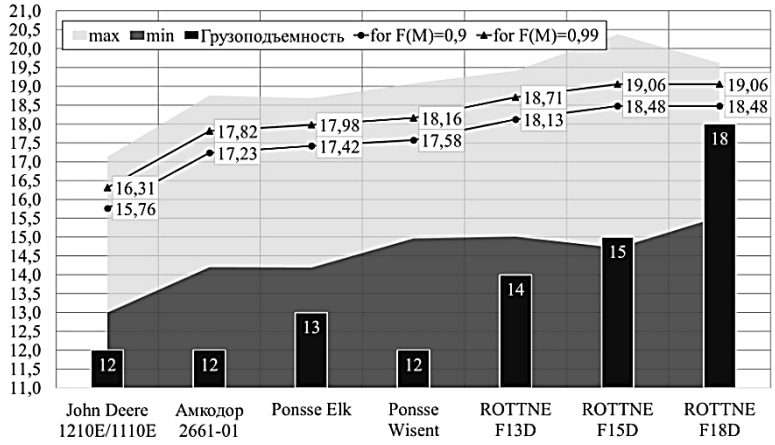
В табл. 2 приведены полученные значения размаха выборок для массы ($M$): пачки, составленные из лесоматериалов № 1, – 4,0...5,7 т (в среднем по всем рассмотренным моделям 4,5 т); пачки, сформированные из лесоматериалов № 2, – 1,4...1,8 т (в среднем 1,6 т), т. е. среднее значение массы пачки, сформированной из лесоматериалов № 1, в 1,5 раза больше, чем у пачки из лесоматериалов № 2. В зависимости от модели форвардера варьирование массы пачки, сформированной из сортиментов № 1, было 2,3–3,4 раза (в среднем 2,8 раза) больше, чем из сортиментов № 2.

Таблица 2

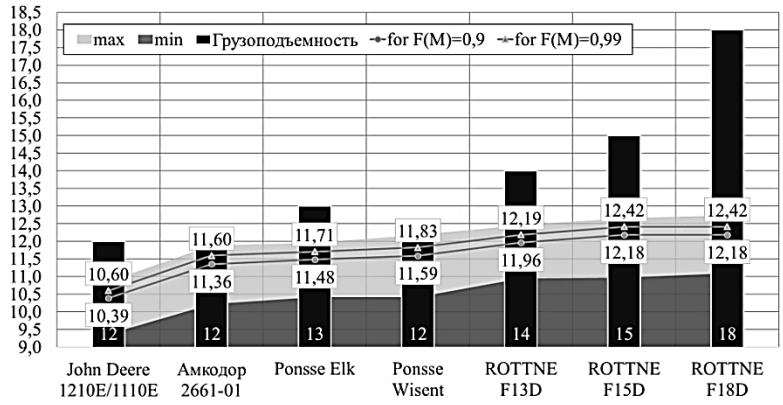
**Варьирование массы пачки ($M$, кг) моделей форвардеров**

| Модель | Лесоматериал № 1 | | | Лесоматериал № 2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | min | mean | max | min | mean | max |
| John Deere 1210E/1110E | 9,36 | 10,13 | 10,86 | 13,00 | 15,09 | 17,13 |
| Амкодор 2661-01 | 10,22 | 11,07 | 11,89 | 14,21 | 16,48 | 18,76 |
| Ponsse Elk | 10,42 | 11,21 | 11,96 | 14,20 | 16,69 | 18,68 |
| Ponsse Wisent | 10,42 | 11,32 | 12,18 | 14,97 | 16,86 | 19,08 |
| Rottne F13D | 10,95 | 11,71 | 12,46 | 15,01 | 17,43 | 19,41 |
| Rottne F15D | 10,97 | 11,90 | 12,66 | 14,71 | 17,75 | 20,38 |
| Rottne F18D | 11,10 | 11,92 | 12,73 | 15,54 | 17,73 | 19,61 |

На рис. 2 приведены результаты сопоставления значений грузоподъемности для рассматриваемых моделей форвардеров с минимальными и максимальными значениями полученных выборок, а также со значениями масс пачек лесоматериалов при $F(M) = 0{,}9$ и $F(M) = 0{,}99$. Для пачек, сформированных из лесоматериалов № 1, значение грузоподъемности меньше минимального значения выборок, за исключением моделей Rottne F15D, Rottne F18D. Для пачек из лесоматериалов № 2, значение грузоподъемности превышало максимальное значение выборок для всех рассматриваемых моделей.




*а*




*б*

Рис. 2. Сопоставление грузоподъемностей (т) форвардеров с характеристиками вариационных рядов для пачек, сформированных из лесоматериалов № 1 (*а*) и № 2 (*б*)

Fig. 2. Comparison of load capacities (т) of the forwarders with the characteristics of the variation series for bundles made up of timber No. 1 (*а*) and No. 2 (*б*)

Зависимость среднего значения массы пачки от площади поперечного сечения грузового отсека форвардера имела линейный характер (рис. 3).

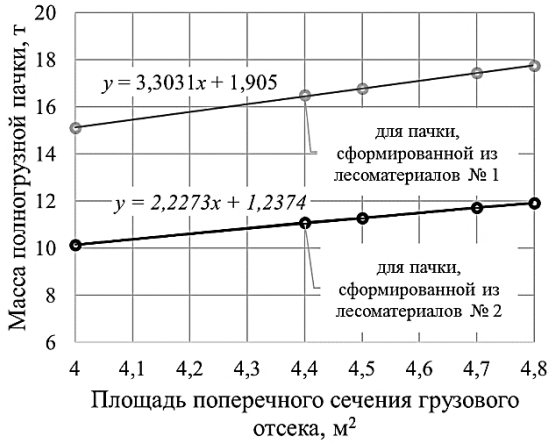
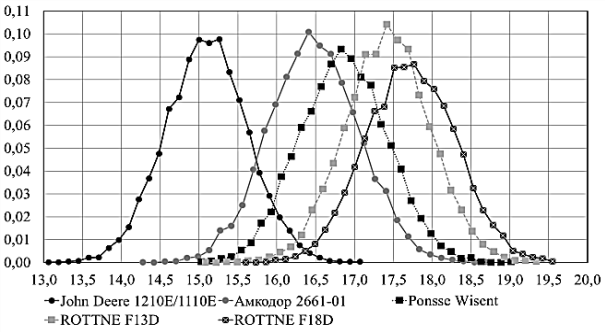


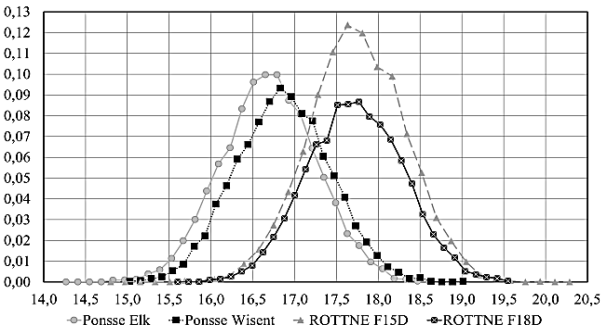

Рис. 3. Влияние площади поперечного сечения грузового отсека на среднее значение массы пачки

Fig. 3. The dependence of the average value of bundle weight on the cross-sectional area of a carrying compartment

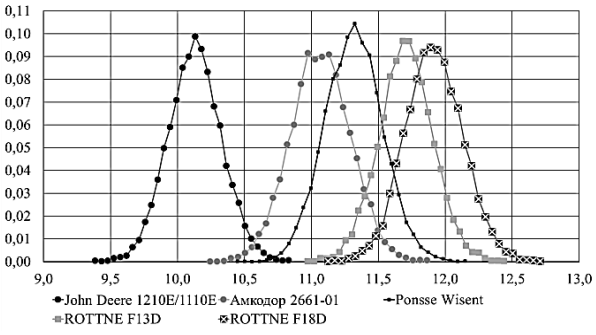
На рис. 4 приведены вариационные кривые масс пачек для рассматриваемых моделей форвардеров.



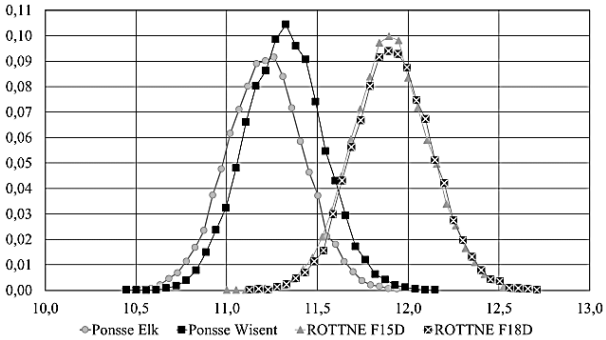

*а*




*б*




*в*




*г*

Рис. 4. Вариационные кривые для масс пачек, сформированных из лесоматериалов: *а*, *б* – № 1; *в*, *г* – № 2 (по оси абсцисс – интервалы значений масс, т; по оси ординат – относительная частота интервалов)

Fig. 4. Variation curves for bundle weights: *а*, *б* – bundles made up of timber No. 1; *в*, *г* – No. 2 (at the x-axis – range of weight values, т; at the y-axis – relative frequency of ranges)

Как видно из графиков, представленных на рис. 4, вариационные кривые приблизительно симметричны и имеют единичные характерные пики. Наиболее вероятное значение массы пачки (мода) примерно равно среднему значению. Увеличение площади поперечного сечения грузового отсека приводило к смещению вариационной кривой в правую сторону от нуля (рис. 4, *а* и *в*). Формы вариационных кривых для разных моделей форвардеров с одинаковыми значениями площади поперечного сечения грузового отсека отличались (рис. 4, *б* и *г*). Установлено, что при площади поперечного сечения грузового отсека форвардера 4,0 м$^2$ в среднем масса полногрузной пачки лесоматериалов, сформированной из елового пиловочника длиной 6,1 м, составляет 15,09 т, а при площади 4,8 м$^2$ – 17,74 т. При площади поперечного сечения грузового отсека 4,0 м$^2$ масса пачки, составленной из елового баланса длиной 4,0 м, в среднем составляет 10,13 т, при площади поперечного сечения грузового отсека 4,8 м$^2$ – 11,91 т. Среднее значение массы пачки имеет линейную зависимость от площади поперечного сечения коника. В среднем масса пачки, сформированной из елового пиловочника длиной 6,1 м, в 1,5 раза больше аналогичных показателей пачки из елового баланса длиной 4,0 м. Колебание массы пачки лесоматериалов из елового пиловочника длиной 6,1 м в среднем составляет 4,5 т, для пачки из елового баланса длиной 4,0 м – 2,8 т.

Полученные результаты не позволили сделать однозначный вывод о влиянии формы коников грузового отсека на массу пачки лесоматериалов. С одной стороны, результаты свидетельствуют, что на средние показатели форма коников грузового отсека практически не влияет, с другой стороны, отличия в формах вариационных кривых для моделей форвардеров с одинаковыми площадями поперечного сечения грузовых отсеков указывают на наличие влияния формы коников. Вероятно, характер распределения значений параметров пачки в определенной степени зависит от формы коников грузового отсека лесных машин.

Сравнение грузоподъемностей и результатов компьютерного эксперимента показало, что все рассмотренные модели форвардеров обладают достаточной грузоподъемностью для транспортировки пачки, сформированной из елового баланса длиной 4,0 м, однако «Амкодор 2661-01» и Ponsse Wisent находятся на грани допустимости. Следует учитывать, что все расчеты проведены для древесины ели. В среднем плотность ели меньше плотности сосны, березы и осины, а плотность свежесрубленной древесины в зависимости от времени года подвержена изменениям [5]. Таким образом, масса пачки при транспортировке сортиментов другой породы может превосходить значения, полученные нами в ходе компьютерного эксперимента. Для транспортировки полногрузной пачки, сформированной из елового пиловочника длиной 6,1 м, все рассмотренные модели форвардера обладают недостаточной грузоподъемностью. Для большинства моделей даже минимальное значение массы пачки по полученным выборкам превосходит их грузоподъемность.

Данные о вариации параметров пачки хорошо согласуются с результатами исследований, проведенных в Европе [10, 27, 29], а также в других регионах СЗФО [4].

Проведенные исследования основаны на имитационной модели, которая отличается от реальных объектов и протекающих процессов, что приводит к появлению погрешностей в расчетах. Перечислим основные их причины.

Во-первых, моделирование загрузки лесоматериалов осуществляется в плоскости, а не в объеме. В связи с этим не учитываются кривизна лесоматериалов, различные пороки, сучки, а также физика взаимодействия лесоматериалов по всей их длине. Вероятно, это приводит к завышению значений массы пачки лесоматериалов.

Во-вторых, модель не учитывает силы инерции и силу тяжести, которые способствуют дополнительному уплотнению лесоматериалов в грузовом отсеке форвардера и повышению коэффициента полнодревесности пачки.

В связи с тем, что формы стволов в исследовании основывались на данных средств объективного контроля харвестеров, третья причина неточностей в расчетах связана с погрешностями измерения средств объективного контроля оборудования. Например, в требованиях Финляндии оговаривается, что погрешность в измерении должна быть в пределах ±4 % [24]. Однако при должной калибровке современные системы измерения харвестера могут обеспечивать точность в пределах ±2 % [15]. Проведенные в Ирландии исследования показывают, что точность измерения в основном находится в пределах ±5 %, но фиксировались случаи, когда точность выходила за ±7 % [24]. В России нормативные документы допускают отклонения и погрешности измерения при определении объемов круглых лесоматериалов в пределах ±5 %.

Дополнительные погрешности при нахождении параметров полногрузных пачек на основе данных средств объективного контроля харвестеров связаны со спецификой измерения диаметра. Если при измерении диаметра его значение больше значения, измеренного в предыдущий момент времени, то в зачет принимаются данные предыдущего измерения. Это позволяет нивелировать наличие шишек на стволе и утолщений в месте роста сучьев при определении объема лесоматериала. Однако именно эти элементы при укладке лесоматериалов в грузовой отсек влияют на коэффициент полнодревесности пачки, а соответственно и на ее массу.

Четвертая причина появления погрешностей в расчетах связана с определением плотности древесины и коры лесоматериалов. Известно, что плотность древесины изменяется не только по высоте дерева, но и по толщине [5]. Кроме того, она зависит от влажности древесины, которая может сильно колебаться в зависимости не только от периода времени, но и от места произрастания дерева в древостое. В наших исследованиях мы ориентировались на изменение средней влажности свежесрубленной древесины в продольном направлении ствола. Изменение плотности коры по длине ствола дерева не учитывалось, а использовалось среднее значение.

Пятая причина вызвана ограниченностью используемого банка стволов деревьев, который не может абсолютно характеризовать все многообразие их форм на рассматриваемой территории.

*Заключение*

Исследования показали, что параметры пачек изменяются в значительных пределах. В среднем колебание массы пачки лесоматериалов, сформированной из елового пиловочника длиной 6,1 м, составляет 4,5 т, из елового баланса длиной 4,0 м – 2,8 т. Чем длиннее сортименты, из которых сформированы пачки, тем вариация массы больше. Грузоподъемность рассмотренных моделей форвардеров на транспортировке полногрузной пачки, составленной из лесоматериалов длиной 6,0 м и более, недостаточна. Для обеспечения высокой вероятности

исключения превышения рейсовой нагрузки над номинальной грузоподъемностью машины необходимо загружать грузовой отсек не более чем на 3/4. При площади поперечного сечения грузового отсека форвардера 4,0 м$^2$ грузоподъемность шасси для районов СЗФО должна быть не менее 16,0 т, при площади 4,8 м$^2$ – 19,0 т. Промежуточные значения могут быть найдены интерполяцией. Данные значения грузоподъемности не учитывают запас, который обычно составляет 20...30 %. Ввиду существования проблемы перегруза форвардеров целесообразно снабжать их системами взвешивания транспортируемого груза и сигнализации перегрузки. Кроме того, рекомендуется наличие индикации уровня загрузки стоек грузового отсека для различных видов лесоматериалов.

Полученные результаты могут быть использованы производителями и предприятиями-потребителями лесозаготовительной техники, а также операторами форвардеров. Приведенные методика и инструментальные средства осуществления компьютерного имитационного эксперимента могут быть распространены на широкий спектр природно-производственных условий лесосечных работ при использовании различных существующих и перспективных марок форвардеров.

Данная работа направлена на расширение знаний в области моделирования параметров транспортируемых форвардерами пачек лесоматериалов и не претендует на исчерпывающий характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н.* Справочник по сушке древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 192 с. [Bogdanov E.I., Kozlov V.A., Peych N.N. *Handbook on Wood Drying*. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1981. 192 p.].

2. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с. [Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Handbook on Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1989. 296 p.].

3. *Войнаш А.С., Войнаш С.А.* Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза // Лесн. журн. 2011. № 5. С. 47–53. [Voinash A.S., Voinash S.A. Study of Run Load Impact on Cross-Country Ability of Track-Type Short Log Truck. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2011, no. 5, pp. 47–53.]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/32f/hihx1.pdf

4. *Катаров В.К., Сюнёв В.С., Ратькова Е.И., Герасимов Ю.Ю.* Влияние форвардеров на лесные почво-грунты // Resources and Technology. 2012. № 9(2). С. 73–81. [Katarov V.K., Syunev V.S., Ratkova E.I., Gerasimov Y.Y. Impact of Wood Forwarding on Forest Soils. *Resources and Technology*, 2012, no. 9(2), pp. 73–81].

5. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с. [Poluboyarinov O. I. *Wood Density*. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1976. 160 p.].

6. *Цывин М.М.* Использование древесной коры. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 96 с. [Tsyvin M.M. *The Use of Wood Bark*. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1973. 96 p.].

7. Akay A.E., Yilmaz M., Tonguc F. Impact of Mechanized Harvesting Machines on Forest Ecosystem: Residual Stand Damage. *Journal of Applied Sciences*, 2006, vol. 6, iss. 11, pp. 2414–2419.

8. Ampoorter E., de Schrijver A., van Nevel L., Hermy M., Verheyen K. Impact of Mechanized Harvesting on Compaction of Sandy and Clayey Forest Soils: Results of a Meta-Analysis. *Annals of Forest Science*, 2012, vol. 69, iss. 5, pp. 533–542. DOI: 10.1007/s13595-012-0199-y

9. Brunberg T. *Underlag till produktionsnormer för skotare* [Productivity-Norm Data for Forwarders]. Redogörelse nr. 3. Uppsala, Skogforsk, 2004. 12 p.

10. Danilović M., Stojnić D., Karić S., Sučević M. Transport of Technical Round-Wood by Forwarder and Tractor Assembly from Poplar Plantations. *Nova mehanizacija šumarstva*, 2014, vol. 35, no. 1, pp. 11–22.

11. Eliasson L. Effects of Forwarder Tyre Pressure on Rut Formation and Soil Compaction. *Silva Fennica*, 2005, vol. 39, no. 4, pp. 549–557. DOI: 10.14214/sf.366

12. Engel A.-M., Wegener J., Lange M. Greenhouse Gas Emissions of Two Mechanised Wood Harvesting Methods in Comparison with the Use of Draft Horses for Logging. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, iss. 4, pp. 1139–1149. DOI: 10.1007/s10342-011-0585-2

13. Gerasimov Y., Senkin V., Väätäinen K. Productivity of Single-Grip Harvesters in Clear-Cutting Operations in the Northern European Part of Russia. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, iss. 3, pp. 647–654. DOI: 10.1007/s10342-011-0538-9

14. Gerasimov Y., Sokolov A. Ergonomic Evaluation and Comparison of Wood Harvesting Systems in Northwest Russia. *Applied Ergonomics*, 2014, vol. 45, iss. 2, part B, pp. 318–338. DOI: 10.1016/j.apergo.2013.04.018

15. Gerasimov Y., Sokolov A., Fjeld D. Improving Cut-to-Length Operations Management in Russian Logging Companies Using a New Decision Support System. *Baltic Forestry*, 2013, vol. 19, iss. 1, pp. 89–105.

16. Gingras J-F. *Recent Developments in Chip Cleaning and Cut-to-Length Harvesting Technologies in Finland*. Internal Report IR-1995-06-01. Forest Engineering Research Institute of Canada, Eastern Division, 1995.

17. Golyakevich S.A., Goronovskii A.R. Evaluation of Loading Dynamics and Fatigue Life for a Forwarder Half-Frame Articulation. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2017, vol. 46, iss. 5, pp. 463–471. DOI: 10.3103/S1052618817050077

18. Goutal N., Keller T., Défossez P., Ranger J. Soil Compaction Due to Heavy Forest Traffic: Measurements and Simulations Using an Analytical Soil Compaction Model. *Annals of Forest Science*, 2013, vol. 70, iss. 5, pp. 545–556. DOI: 10.1007/s13595-013-0276-x

19. Klvač R., Fischer R., Skoupý A. Energy Use of and Emissions from the Operation Phase of a Medium Distance Cableway System. *Croatian Journal of Engineering*, 2012, vol. 33, iss. 1, pp. 79–88.

20. Labelle E.R., Jaeger D. Effects of Steel Flexible Tracks on Forwarder Peak Load Distribution: Results from a Prototype Load Test Platform. *Croatian Journal of Engineering*, 2019, vol. 40, iss. 1, pp. 1–23.

21. Lijewski P., Merkisz J., Fuć P., Ziółkowski A., Rymaniak L., Kusiak W. Fuel Consumption and Exhaust Emissions in the Process of Mechanized Timber Extraction and Transport. *European Journal of Forest Research*, 2017, vol. 136, iss. 1, pp. 153–160. DOI: 10.1007/s10342-016-1015-2

22. Lindholm E.-L., Berg S. Energy Requirement and Environmental Impact in Timber Transport. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2004, vol. 20, iss. 2, pp. 184–191. DOI: 10.1080/02827580510008329

23. Lindholm E.-L., Berg S., Hansson P.-A. Energy Efficiency and the Environmental Impact of Harvesting Stumps and Logging Residues. *European Journal of Forest Research*, 2010, vol. 129, iss. 6, pp. 1223–1235. DOI: 10.1007/s10342-010-0412-1

24. Mousavi S.R. *Comparison of Productivity, Cost and Environmental Impacts of Two Harvesting Methods in Northern Iran: Short-Log versus Long-Log*. Ph.D. Thesis. University of Joensuu, Finland. 2009.

25. Nieuwenhuis M., Dooley T. The Effect of Calibration on the Accuracy of Harvester Measurements. *International Journal of Forest Engineering*, 2006, vol. 17, iss. 2, pp. 25–33. DOI: 10.1080/14942119.2006.10702533

26. Nurminen T., Korpunen H., Uusitalo J. Time Consumption Analysis of the Mechanized Cut-to-Length Harvesting System. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 2, pp. 335–363. DOI: 10.14214/sf.346

27. Oberscheider M., Zazgornik J., Henriksen C.B., Gronalt M., Hirsch P. Minimizing Driving Times and Greenhouse Gas Emissions in Timber Transport with a Near-Exact Solution Approach. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 28, iss. 5, pp. 493–506. DOI: 10.1080/02827581.2012.758309

28. Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Zorić M., Knežević M. Load Space Utilization of a Valmet 860.4 Forwarder. *Forest Engineering: "Making a Positive Contribution". Abstracts and Proceedings of the 48th Symposium on Forest Mechanization, Linz, Austria, October 4–8, 2015*. Linz, Austria, 2015, pp. 271–275.

29. Proto A.R., Macrì G., Visser R., Harrill H., Russo D., Zimbalatti G. A Case Study on the Productivity of Forwarder Extraction in Small-Scale Southern Italian Forests. *Small-Scale Forestry*, 2018, vol. 17, iss. 1, pp. 71–87. DOI: 10.1007/s11842-017-9376-z

30. Proto A.R., Macrì G., Visser R., Harrill H., Russo D., Zimbalatti G. Factors Affecting Forwarder Productivity. *European Journal of Forest Research*, 2018, vol. 137, iss. 2, pp. 143–151. DOI: 10.1007/s10342-017-1088-6

31. Ringdahl O., Hellström T., Lindroos O. Potentials of Possible Machine Systems for Directly Loading Logs in Cut-to-Length Harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 42, no. 5, pp. 970–985. DOI: 10.1139/x2012-036

32. Sängstuvall L., Bergström D., Lämås T., Nordfjell T. Simulation of Harvester Productivity in Selective and Boom-Corridor Thinning of Young Forests. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 27, iss. 1, pp. 56–73. DOI: 10.1080/02827581.2011.628335

33. Sängstuvall L., Lämås T., Nordfjell T. Application of a Primarily Deductive Framework Describing Time Consumption for Hauling of Logs to Road-Side. *Annals of Operations Research*, 2014, vol. 219, iss. 1, pp. 477–489. DOI: 10.1007/s10479-012-1172-8

34. Sirén M., Salmivaara A., Ala-Ilomäki J., Launiainen S., Lindeman H., Uusitalo J., Sutinen R., Hänninen P. Predicting Forwarder Rut Formation on Fine-Grained Mineral Soils. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2019, vol. 34, iss. 2, pp. 145–154. DOI: 10.1080/02827581.2018.1562567

35. Talbot B., Nordfjell T., Suadicani K. Assessing the Utility of Two Integrated Harvester-Forwarder Machine Concepts through Stand-Level Simulation. *International Journal of Forest Engineering*, 2003, vol. 14, iss. 2, pp. 31–43. DOI: 10.1080/14942119.2003.10702476

36. Vossbrink J., Horn R. Modern Forestry Vehicles and Their Impact on Soil Physical Properties. *European Journal of Forest Research*, 2004, vol. 123, iss. 4, pp. 259–267. DOI: 10.1007/s10342-004-0040-8

37. Wang J., LeDoux C.B., Li Y. Simulating Cut-to-Length Harvesting Operations in Appalachian Hardwoods. *International Journal of Forest Engineering*, 2005, vol. 16, iss. 2, pp. 11–27. DOI: 10.1080/14942119.2005.10702510

## COMPUTER EXPERIMENT TECHNIQUE FOR DETERMINING THE LOAD CAPACITY AND DIMENSIONS OF THE CARRYING COMPARTMENT OF A FOREST VEHICLE

***I.R. Shegelman*[1]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: P-9793-2019; ORCID: 0000-0001-5133-4586*
***P.V. Budnik*[1]**, *Candidate of Engineering, Head of the Department of Intellectual Property and Invention Protection; ResearcherID: E-1782-2015; ORCID: 0000-0002-8701-4442*
***V.N. Baklagin*[2]**, *Candidate of Engineering, Research Scientist; ResearcherID: M-2265-2016; ORCID: 0000-0002-0060-1653*
[1]Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: shegelman@onego.ru, budnikpavel@yandex.ru
[2]Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, prosp. Aleksandra Nevskogo, 50, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185030, Russian Federation; e-mail: slava.baklagin@mail.ru

The research purpose involved the formation of objective information on the weight of a hauled bundle of logs for wood enterprises and forest machinery manufacturers; contributing to the rational choice of specific models of forwarders and justification of their basic parameters for the natural and production conditions of the Northwestern Federal District. The research is based on a computer experiment and a large amount of actual data on the forms of tree trunks obtained with the help of the data recorders of harvesters. The Republic of Karelia was the collecting point of actual data on the forms of trunks. The following forwarder models were considered: John Deere 1210E, John Deere 1110E, Ponsse Elk, Ponsse Wisent, Amkodor 2661-01, Rottne F13D, Rottne F15D, and Rottne F18D. The results have shown that the weight of a bundle varies within wide limits. On average, the weight of a bundle made up of 6.1 m long spruce sawlog is 4.5 t, and 4.0 m long spruce pulpwood is 2.8 t. All the considered models have a stock of load capacity in transporting a bundle made up of 4 m long pulpwood. All the models of forwarders have insufficient load capacity in transporting a bundle made up of 6.1 m long sawlog. We recommend providing load capacity of at least 16 t for a cross-sectional area of the carrying compartment 4 $m^2$, and not less than 19 t for the area of 4.8 $m^2$ for logging machines designers. It is necessary to upload the carrying compartment of forwarders not more than to three-fourths when transporting a bundle made up of 6.1 m long assortment. This will highly likely allow to exclude the overloading of scheduled capacity over the rated load capacity of a forest transport vehicle.

***For citation:*** Shegelman I.R., Budnik P.V., Baklagin V.N. Computer Experiment Technique for Determining the Load Capacity and Dimensions of the Carrying Compartment of a Forest Vehicle. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 160–173. DOI: 10.17238/ issn0536-1036.2019.6.160

***Funding:*** The research was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists on the project “Development of an Environment for the Design of Optimal Parameters of Technological Equipment for Forest Multioperational Machines” (MK-5321.2018.8).

*Keywords:* simulation modeling, computer experiment, bundle weight, load capacity, logging operations, forwarder.

Поступила 19.06.19 / Received on June 19, 2019

УДК 674.05:620.16
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

# ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СУЧКОРЕЗНЫХ НОЖЕЙ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

***Г.А. Пилюшина*[1], *канд. техн. наук;*** *ResearcherID: H-1699-2019, ORCID: 0000-0002-2422-0919*
***Е.А. Памфилов*[1], *д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: H-1866-2019, ORCID: 0000-0002-1522-7246*
***Е.В. Шевелева*[2], *канд. техн. наук;*** *ResearcherID: H-2080-2019, ORCID: 0000-0002-1763-6932*
[1]Брянский государственный технический университет, бул. 50-летия Октября, д. 7, г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: gal-pi2009@yandex.ru, epamfilov@yandex.ru
[2]Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: elshev78@yandex.ru

Удаление сучьев со стволов заготавливаемой древесины является первым этапом процесса превращения ее в готовую продукцию, на котором необходимо стремиться к достижению максимальной эффективности использования сырья и повышению качества получаемого сортимента. При этом качественная очистка и минимизация повреждений стволов деревьев во многом обусловлены надежной работой сучкорезно-протаскивающих устройств лесозаготовительных машин, осуществляющих процессы удаления сучьев и технологического перемещения древесины. При эксплуатации сучкорезно-протаскивающего механизма происходит интенсивное затупление сучкорезных ножей, в результате чего силы, затрачиваемые на срезание сучьев, возрастают, процесс стабильного резания нарушается. Происходит неполное срезание, а при увеличении давления на ножи – зарезание их в ствол и выламывание сучьев, что снижает качество заготавливаемой древесины и приводит к дальнейшему изнашиванию срезающих устройств. Износ ножей происходит вследствие действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных факторов и приводит к изменению геометрических параметров режущих кромок ножей. Для повышения качества обрезки сучьев и снижения при этом энергозатрат необходимо выполнить оценку влияния геометрических и физико-химических параметров срезающих ножей на их износостойкость, что позволит теоретически обосновать рациональную геометрию режущего клина и требования к физико-химическим характеристикам рекомендуемых материалов. Анализ силового взаимодействия режущего клина с перерезаемым суком показал, что уже в начале контакта на лезвие срезающего ножа действует ударная изгибающая нагрузка, которая в случае достижения пиковых значений нередко приводит к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов режущей кромки. При этом износ сучкорезных ножей происходит преимущественно за счет развития микротрещин, которые образуются в результате антиплоской деформации при приложении напряжений, и зависит от параметров хрупкого разрушения материалов. Кроме того, изнашивание усугубляется контактом с загрязненной и влажной, а в зимний период и мерзлой древесиной, что обусловливает интенсификацию коррозионно-механических процессов в прикромочных зонах лезвий ножей. Решение задачи повышения износостойкости сучкорезных ножей возможно обеспечить путем оптимизации геометрических параметров ножевого клина и формированием в поверхностном слое благоприятных физико-механических характеристик, позволяющих минимизировать интенсивность изнашивания. Для этого экспериментально определены целесообразные геометрические параметры ножевого клина. Предложено для изготовления сучкорезных ножей использовать сложнолегированную хромоникелевую сталь и рациональные режимы ее термической обработки. В качестве поверхностной

обработки рекомендовано их электродеформационное упрочнение, позволяющее оптимизировать шероховатость и формировать необходимые напряжения сжатия в прикромочных зонах для обеспечения высокой износостойкости сучкорезных ножей.
***Для цитирования:*** Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Повышение износостойкости сучкорезных ножей многооперационных лесозаготовительных машин // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 174–184. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

*Ключевые слова:* заготовка древесины, сучкорезные ножи, трение, износостойкость, геометрия режущего клина, триботехнические параметры, электродеформационная обработка.

## *Введение*

Удаление сучьев с древесного ствола является одной из наиболее трудоемких и энергозатратных операций лесозаготовок. Для ее выполнения применяются сучкорезные машины или многооперационные харвестеры. В режущих устройствах этих машин преимущественно используются жесткие ножи, срезающие сучья без образования стружки. При этом процесс удаления сучьев осуществляется путем протягивания ствола срезанного дерева между заточенными сучкорезными ножами вследствие принудительного надвигания хлыстов на ножи со скоростью 2,5...4,0 м/с при тяговом усилии подающих вальцов 25...30 кН [3, 12, 14, 15]. Чтобы воспринять такие нагрузки материал ножей должен обладать повышенной прочностью и твердостью, иметь высокую сопротивляемость выкрашиванию и разрушению при воздействии на них динамических нагрузок. При этом сама перерабатываемая древесина должна оказывать (по возможности) малое сопротивление внедрению ножа при перерезании волокон удаляемых сучьев.

Выполненный ранее анализ работоспособности ножевых устройств [2, 4–6] показал, что для увеличения скорости обрезки сучьев и снижения усилия протаскивания ствола необходимо минимизировать силы резания и трения, действующие на передней и задней поверхностях режущего клина и определяемые физико-механическими характеристиками древесины и угловыми параметрами режущих устройств.

При этом геометрические параметры сучкорезных ножей изменяются в процессе работы вследствие изнашивания, которое является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных факторов, сопровождающих процесс фрикционного взаимодействия ножей и перерезаемой древесины. Достигаемое качество обрезки сучьев существенно зависит от формы ножей и усилий их прижима к стволу, а также от угловых параметров заточки режущего клина. При затуплении ножей сучья удаляются не полностью, наблюдаются вырывы древесины у основания сучков, возникают задиры и зарезание ножей в древесину ствола. По данным исследований [5], при затуплении сучкорезных ножей на 13 % от первоначального геометрического состояния брак заготовленной древесины достигает 50 % от общего количества полученных сортиментов, производительность машины снижается на 21 %, эксплуатационный расход топлива возрастает на 31 %.

На интенсивность изнашивания ножей значительное влияние оказывают условия заготовки сортимента, так как контакт ножей зачастую происходит с влажной древесиной, загрязненной минеральными частицами почвы, а в зимний период – с мерзлой древесиной. Это обусловливает интенсификацию коррозионно-механических процессов в прикромочных зонах лезвий сучкорезных ножей [11, 13].

С учетом вышесказанного актуальным является повышение износостойкости ножевых устройств. Решение этой проблемы возможно путем оптимизации геометрических параметров и формирования в поверхностном слое сучкорезных ножей благоприятных физико-механических характеристик, что позволит обеспечить повышение производительности и снизить энергозатраты при перерезании сучьев за счет минимизации сил резания и трения, действующих на передней и задней поверхностях режущего клина.

Создание целесообразных значений физико-химических характеристик формируемого поверхностного слоя материала возможно путем выбора рационального материала для ножей и эффективной упрочняющей обработки, которая позволит оптимизировать остаточное напряженное состояние функционального поверхностного слоя ножей и минимизировать в них наличие структурных дефектов, в частности микротрещин.

Цель настоящей статьи – уточнение условий фрикционно-механического взаимодействия срезающих ножей с древесиной, позволяющих обосновать оптимальные (рациональные) значения макро- и микрогеометрических характеристик изнашиваемых поверхностей и требования к выбору рекомендуемых конструкционных материалов, обладающих высокими триботехническими параметрами, а также к назначению способов и режимов упрочняющего воздействия на поверхностный слой режущих элементов.

### *Характер нагружения и основы повышения износостойкости ножевых устройств для бесстружечного удаления сучьев с заготавливаемых деревьев*

Основными функциональными элементами сучкорезного механизма лесозаготовительных машин являются профильные ножи, имеющие клиновидную заточку, форму кромки которых желательно задавать так, чтобы они плотнее охватывали ствол дерева в зонах разных диаметров [6, 12, 15, 16, 21]. Анализ процесса изнашивания сучкорезных ножей показал, что для решения задачи повышения их износостойкости необходимо наличие информации о характере сил, действующих в зоне контакта ножей с древесиной срезаемых сучьев.

Установлено, что усилие, необходимое для срезания сучьев, зависит от породы дерева, диаметра и угла врастания сучка, а также от состояния режущего инструмента, параметров его заточки и физико-химических характеристик используемых конструкционных материалов. Для срезания сосновых или еловых сучьев диаметром $d_с$ = 6...7 см требуется усилие 20...25 кН, а березовых – 25...30 кН [17]. При этом максимальное усилие достигается в момент прохождения ножа вблизи середины сучьев.

Основными составляющими усилия резания являются: силы внедрения в материал, действующие на лезвие; силы отжима, прилагаемые к передней грани; силы упругости древесины на задней поверхности; силы трения между поверхностями резца и древесиной. При этом по данным [1] максимальное усилие срезания сучка $F_{max}$ в зависимости от $d_с$ и породы дерева может быть определено по эмпирической формуле, справедливой при $d_с$ > 0,04 м:

$$F_{max} = 315 \cdot 10^4 \cdot d_с^2 a_п a_δ a_з a,$$

где $a_п$ – коэффициент, учитывающий породу дерева (для сосны – 1,0; ели – 1,3; березы – 1,8); $a_δ$ – коэффициент, учитывающий величину угла резания; $a_з$ – коэффициент, учитывающий степень затупления резца; $a$ – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства (для сучьев – 0,35).

Усилие резания пропорционально поперечному сечению срезаемых сучьев, а усилия резания, воспринимаемые ножами верхнего и нижнего уровней, рассчитываются по следующим формулам [5]:

$$F_{в} = 0{,}6\, F_{max}\, i; \quad F_{н} = 0{,}3\, F_{max}\, i,$$

где $i$ – наибольшее количество одновременно срезаемых сучьев среднего диаметра.

Максимальное усилие $F_{max}$ действует на ножи кратковременно, поэтому именно его необходимо учитывать при создании моделей нагружения срезающих устройств многооперационных лесозаготовительных машин. Кроме того, важнейшим фактором нагружения срезающих ножей является усилие прижима каждого ножа к поверхности ствола дерева:

$$F_{пр} = 2F_{от}\ \sin\frac{\varphi}{2},$$

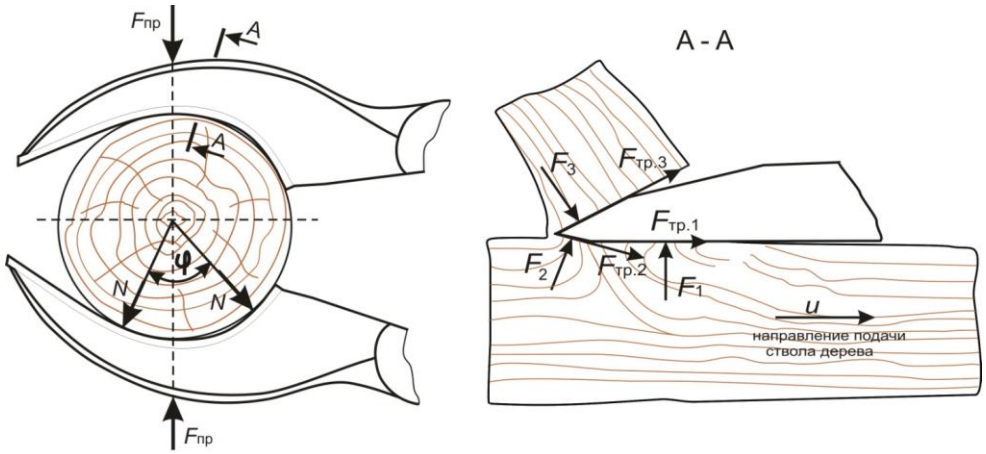
где $F_{от}$ – силы отжима ножей; φ – угол охвата ствола режущей кромкой.

Усилие отжима отжима можно определить по формуле

$$F_{от} = 2N\ \sin\varphi,$$

где $N$ – сила сопротивления смятию древесины.

На рис. 1 представлена схема осуществления отдельного реза ножами харвестерной головки, а также приведено расположение прилагаемых при этом сил.




*а* *б*

Рис. 1. Схема очистки ствола дерева сучкорезными ножами харвестерной головки: *а* – протаскивание ствола дерева между боковыми ножами харвесторной головки; *б* – характер действующих сил при срезании сучка; $F_1$, $F_2$, $F_3$ – усилия резания, реализующиеся на основных поверхностях режущего клина при срезании сучка; $F_{тр.1}$ – сила трения на основной задней поверхности режущего клина; $F_{тр.2}$ – на вспомогательной задней поверхности режущего клина; $F_{тр.3}$ – на передней поверхности резца; $u$ – направление подачи ствола дерева; $F_{пр}$ – усилие прижима ножа к поверхности ствола дерева кромкой

Fig. 1. Scheme of tree trunk pruning with delimbing knives of a harvester head: *a* – dragging a tree trunk between the side knives of a harvester head; *б* – the nature of the acting forces when cutting the knot; $F_1$, $F_2$, $F_3$ – cutting forces that are implemented on the main surfaces of the wedge when cutting the knot; $F_{тр.1}$ – friction force on the main back surface of the wedge; $F_{тр.2}$ – on the auxiliary back surface of the wedge; $F_{тр.3}$ – on the cutter face; $u$ – feed direction of the tree trunk; $F_{пр}$ – blade pressure to the tree trunk surface

Как видно из рис. 1, на начальном этапе взаимодействия происходит ударный контакт ножа с обрабатываемым материалом, при этом направление действия нагрузки противоположно направлению вектора скорости перемещения заготовки, а ее величина определяется состоянием, породой и факторами, характеризующими неравномерность прочностных характеристик древесного материала [7]. Далее, по мере протаскивания вальцами заготовки, нагрузка сначала возрастает до середины диаметра перерезаемого сучка, после чего постепенно снижается.

Для устройств, срезающих сучья жесткими ножами, усилие протаскивания в основном определяется силами сопротивления резанию, возникающими в механизме при надвигании ствола дерева на ножи, и силами трения ножей при срезании сучьев. Действующие при этом силы достигают больших значений [9]. Для их минимизации необходимо уменьшить силы, влияющие на нож при перерезании волокон древесины в процессе удаления сучков, и снизить силы трения, реализующиеся в контакте функциональных поверхностей режущего клина с ювенильными поверхностями древесины сучьев.

Для оптимизации угловых параметров сучкорезного ножа нами выполнялись исследования по влиянию макро- и микрогеометрии режущего клина на силовые характеристики процесса срезания в зависимости от породы и влажности древесины, диаметра перерезаемого сучка. При этом было установлено, что из угловых параметров резца наиболее важными являются задний угол режущего клина, угол заострения, а также радиус округления режущей кромки. Уменьшение угла заострения режущих кромок способствует снижению действующих сил резания. Однако при этом понижается сопротивляемость изнашиванию срезающих ножей.

Силы трения характеризуются коэффициентом трения, реализующимся между материалом срезающего ножа и перерезаемой древесиной, а также величинами переднего и заднего углов режущего клина. Особая сложность минимизации затрат на трение в зоне резания обусловлена тем, что задний угол сучкорезного ножа по технологическим условиям обработки задается близким к нулю [8, 10], что увеличивает площадь контакта ножа с древесиной и, соответственно, силу трения. В связи с этим нами рассматривался конструкторский принцип формирования специальных поддерживающих валиков методом наплавки износостойкого материала, обладающего низким коэффициентом трения на рабочих поверхностях режущего клина.

Что касается физико-механических характеристик материалов, то для изготовления ножей необходимо, чтобы они обладали высокой износостойкостью, прочностью и способностью сопротивляться развитию микротрещин при действии ударных нагрузок, а также стойкостью к действию абразива и коррозионно-активных сред. Для уменьшения интенсивности изнашивания следует снизить количество концентраторов напряжений, создать гетерогенную структуру и сжимающие остаточные напряжения в поверхностных слоях, а также повысить диссипативные характеристики применяемых материалов.

Как показали исследования [18–20], для изготовления срезающих ножей перспективными являются стали, легированные хромом, никелем, молибденом, ванадием и другими элементами, с пониженным содержанием серы и фосфора. Важно также обеспечить в ножах повышенную структурную и геометрическую однородность поверхностных слоев и минимальное количество дефектов. Такими характеристиками обладают стали 60С2ХА, 45ХНМФА,

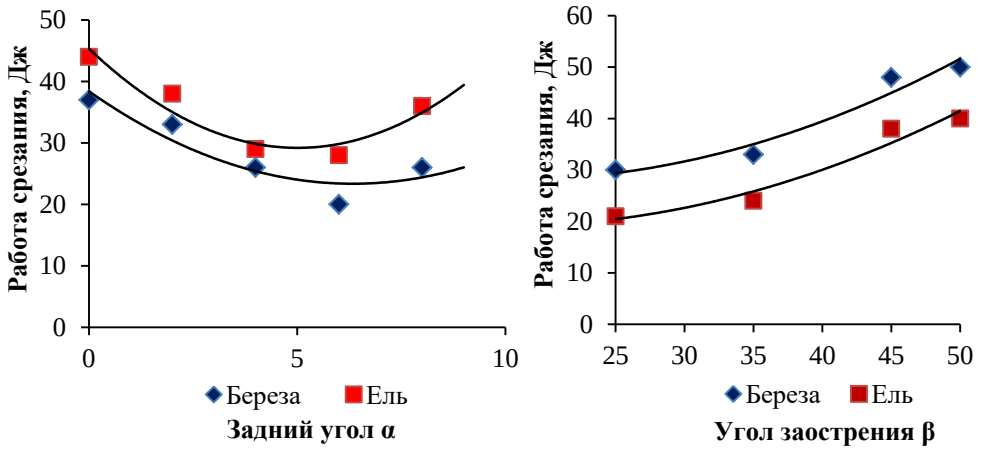
45ХН2МФА, а также рекомендуемая нами сталь 7Х15ВМФСН, содержащая марганец, хром, ванадий, молибден, никель, алюминий и редкоземельные металлы. Для повышения прочности и ударной вязкости ножей предложены рациональные режимы термической обработки, включающие закалку и многократный отпуск.

В качестве поверхностного упрочнения необходимо использовать обработку, сочетающую различные схемы электроискрового воздействия, в том числе и совокупность различных электродов. Наиболее перспективным оказалось деформационное упрочнение, позволяющее наряду с достижением высокой износостойкости снизить шероховатость поверхностей и переформировать остаточные напряжения растяжения в благоприятные напряжения сжатия.

*Результаты исследования и их обсуждение*

В целях оптимизации триботехнических параметров ножевых устройств выполнены экспериментальные исследования, задача которых – определение рациональной геометрии режущих кромок и подтверждение теоретических рекомендаций по выбору более износостойких материалов и эффективных методов упрочняющей обработки, перспективных для изготовления сучкорезных ножей.

Закономерности влияния угловых параметров ножей на работу срезания сучков представлены на рис. 2.




*а* *б*

Рис. 2. Работа, затрачиваемая на срезание сучков диаметром 90 мм, при различных угловых параметрах заднего угла α (*а*) и угла заострения β (*б*) резца

Fig. 2. The work required for cutting the knots with a diameter of 90 mm at various angular parameters of the back angle α (*а*) and the wedge angle β (*б*) of the cutter

Как видно из рис. 1, работа, затрачиваемая на срезание сучков, возрастает при увеличении угла заострения β режущего клина. При этом более значительное повышение работы срезания начинается при β = 40°. В то же время установлено, что при β = 25...30° износ режущей кромки ножа протекает преимущественно по механизму микровыкрашивания и сколов. Причем при таких значениях β предельное состояние лезвия по показателям изнашивания достигается в течение менее 100 циклов срезания. При β более 35° износ режущей кромки

выкрашиванием уменьшается и переходит к механизму постепенного изнашивания, поэтому угол заострения сучкорезного ножа целесообразно задавать в пределах 40...45°. Вместе с тем при необходимости уменьшения угла заострения требуется целевая упрочняющая обработка, способствующая минимизации износа микровыкрашиванием.

Некоторое увеличение заднего угла до α = 4...5° способствует уменьшению работы срезания ножа, после чего она начинает возрастать. Это связано с тем, что нож приподнимается на угол α и снижается трение задней поверхности ножа по коре древесины. Представляется целесообразным для повышения прочности лезвия резца выполнять задний угол ступенчатым, назначая на ширине 3...4 мм от режущей кромки α = 1…3°, далее увеличивая до 4…5°.

Важной является оценка влияния на силовой процесс срезания сучьев радиуса округления режущей кромки. Одновременно для предварительной оценки влияния сопротивляемости изнашиванию некоторых инструментальных материалов исследуемых ножей изучали динамику процесса изнашивания, которую оценивали по изменению радиуса округления режущих кромок в зависимости от количества выполненных ножами срезов.

Радиусы округлений режущих кромок измеряли с помощью радиусных шаблонов на инструментальном микроскопе МИМ или путем фотографирования оттиска лезвия в мягком материале с последующим определением радиуса на фотографиях радиусным шаблоном, выполненным в таком же масштабе, что и фотографирование оттиска.

Результаты испытаний для резания древесины ели и березы представлены на рис. 3, для инструментальных материалов из стали 40Х, стали 45ХН2МФА, стали 7Х15ВМФСН – на рис. 4.

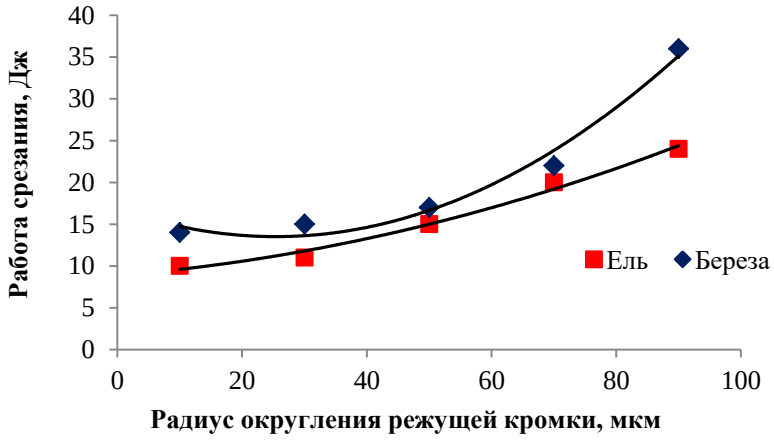



Рис. 3. Влияние радиуса округления режущей кромки сучкорезного ножа на работу срезания

Fig. 3. The influence of the corner radius of the delimbing knife cutting edge on the work of cutting

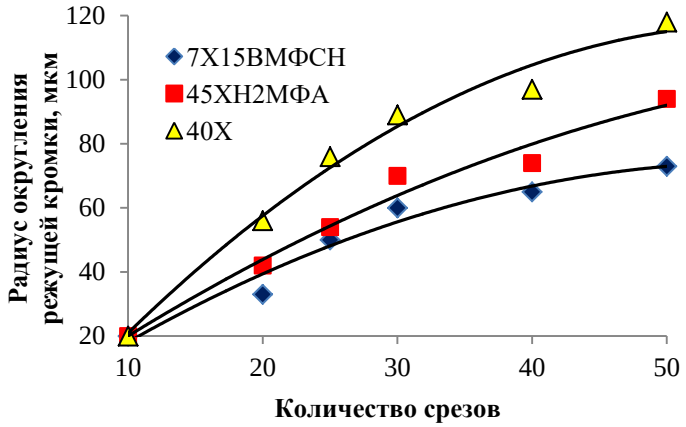



Рис. 4. Влияние количества срезов древесных сучков на изменение радиуса округления режущей кромки сучкорезного ножа, выполненного из сталей разных марок

Fig. 4. The influence of the number of slices of wood limbs on the change in the corner radius of the cutting edge of the delimbing knife made of steels of different grades

Результаты исследований позволили оптимизировать геометрические параметры режущих кромок сучкорезных ножей (рис. 5).

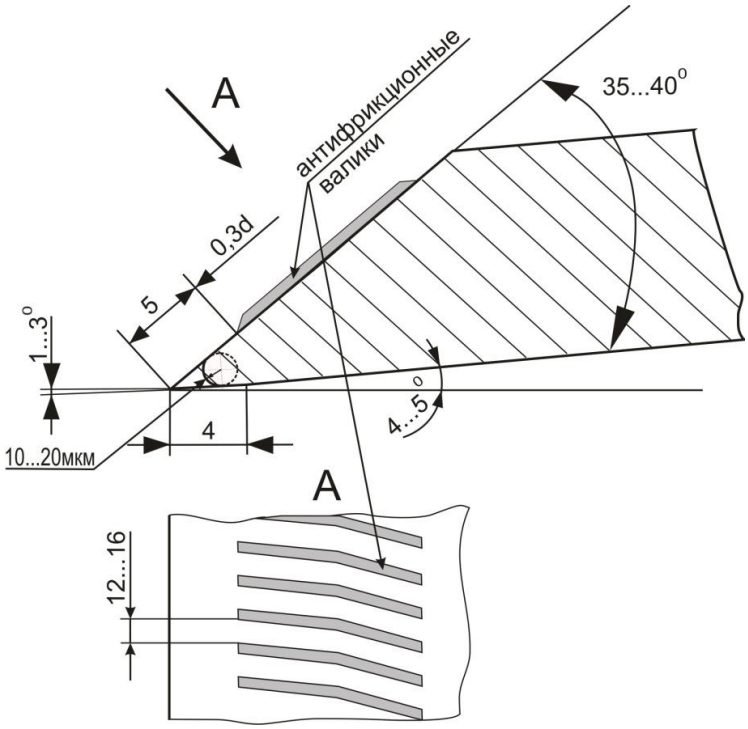



Рис. 5. Рекомендуемые геометрические параметры сучкорезных ножей

Fig. 5. Recommended dimensions of delimbing knives

Таким образом, подтверждена перспективность использования высоколегированной хромоникелевой стали 7Х15ВМФСН, так как во всех сериях испытаний образцы из этой стали показали высокую износостойкость, что позволяет рекомендовать этот сплав для изготовления ножей сучкорезных устройств многооперационных лесозаготовительных машин. В качестве упрочняющей обработки рекомендуется выполнять закалку с двукратным отпуском, а также поверхностное электродеформационное упрочнение режущей кромки.

*Выводы*

1. Экспериментально установлен благоприятный уровень геометрических параметров сучкорезных ножей. Угол заострения режущего клина ножа рекомендуется задавать в пределах 35…40º, задний угол – 1…3º на ширине до 4 мм, далее – 4…5º; средний радиус округления режущей кромки 15...20 мкм.

2. Для сокращения энергозатрат в процессе работы сучкорезно-протаскивающего механизма целесообразно наплавлять на переднюю поверхность сучкорезных ножей антифрикционные валики, способствующие снижению усилий срезания сучьев.

3. Подтверждена высокая износостойкость высоколегированной хромоникелевой стали 7Х15ВМФСН в условиях коррозионно-механического изнашивания при действии циклических и ударных нагрузок, что позволяет рекомендовать этот сплав для изготовления ножей сучкорезных устройств многооперационных лесозаготовительных машин, а в качестве упрочняющей обработки – проводить закалку ножей с двукратным отпуском, а также поверхностное электродеформационное упрочнение их режущих кромок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Жаденов В.С., Заикин А.Н., Лобанов В.Н., Чайка О.Р.* Технологическое оборудование лесозаготовительных машин (Теория, конструкция, эксплуатация). Брянск: БГИТА, 2005. 254 с. [Zhadenov V.S., Zaikin A.N., Lobanov V.N., Chayka O.R. *Technological Equipment of Logging Machines (Theory, Construction, Operation)*. Bryansk, BGITA Publ., 2005. 254 p.].

2. *Зотов Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с. [Zotov G.A., Pamfilov E.A. *Increasing the Resistance of a Wood-Cutting Tool*. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 304 p.].

3. Харвестерная головка и ее дополнительные устройства // Лесотехника. Режим доступа: http://lesotehnika.com/statya/st_4_harvesterhead.html (дата обращения: 16.03.19). [Harvester Head and Its Add-on Equipment. *Harvesting and Logging Equipment*].

4. *Рукомойников К.П., Ведерников С.В.* Модернизация сучкорезного ножа харвестерной головки // Лесн. журн. 2019. № 1. С. 120–127. (Изв. высш. учеб. заведений). [Rukomoynikov K.P., Vedernikov S.V. Modernization of Harvester Head Delimbing Knife. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 1, pp. 120–127]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.120; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/ee2/120_127.pdf

5. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А.* Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 129–141. (Изв. высш. учеб. заведений). [Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Possibilities and Prospective Ways to Increase Working Capacity of Forest Sector Machines and Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 5, pp. 129–141]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/716/le1.pdf

6. *Пилюшина Г.А.* Повышение износостойкости деталей и инструментов деревоперерабатывающего оборудования // Качество и жизнь. 2014. № 1(1). С. 44–49. [Pilyushina G.A. Improving the Wear Resistance of Parts and Tools of Woodworking Machinery. *Kachestvo i zhizn'* [Quality and life], 2014, no. 1(1), pp. 44–49].

7. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В., Прозоров Я.С., Пыриков П.Г.* Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 102–110. (Изв. высш. учеб. заведений). [Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Sheveleva E.V., Prozorov Ya.S., Pyrikov P.G. Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 102–110]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/47d/102_110.pdf

8. *Селиверстов А.А., Симонова И.В., Александров А.А.* Исследование состояния геометрии формы и заточки сучкорезных ножей харвестеров // Тр. лесоинж. фак. ПетрГУ. 2010. Вып. 8. С. 128–132. [Seliverstov A.A., Simonova I.V., Aleksandrov A.A. Studying the State of Shape Geometry and Sharpening of Delinbing Knives of Harvesters. *Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Resources and Technology], 2010, iss. 8, pp. 128–132].

9. *Сюнёв В.С., Селиверстов А.А.* Рабочие органы харвестеров: проектирование и расчет. Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. 202 с. [Syunev V.S., Seliverstov A.A. *Working Bodies of Harvesters: Engineering and Design*. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2005. 202 p.].

10. *Сюнёв В.С., Селиверстов А.А.* Развитие сортиментной технологии лесозаготовок и использование харвестеров в Республике Карелия // Лес и бизнес. 2006. № 7. С. 58–61. [Syunev V.S., Seliverstov A.A. Development of Cut-to-Length Logging and Use of Harvesters in the Republic of Karelia. *Les i biznes*, 2006, no. 7, pp. 58–61].

11. Axelsson S.-A. The Mechanization of Logging Operations in Sweden and Its Effect on Occupational Safety and Health. *Journal of Forest Engineering*, 1998, vol. 9, iss. 2, pp. 25–31.

12. Axelsson S.-A, Pontén B. New Ergonomic Problems in Mechanized Logging Operations. *Journal of Industrial Ergonomics*, 1990, vol. 5, iss. 3, pp. 267–273. DOI: 10.1016/0169-8141(90)90062-7

13. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods. *Journal of Tropical Forest Science*, 2006, vol. 18, no. 4, pp. 255–260.

14. Engsås J. *Accidents in Small-Scale Forestry – Prerequisites for Accident Prevention among Private Wood-Lot Owners*. Research Note no. 251. Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, 1993. 121 p.

15. Lidén E. *Forest Machine Contractors in Swedish Industrial Forestry*. Report no. 195. Garpenberg, Swedish University of Agricultural Sciences, 1995. 43 p.

16. Niemi P. *Delimbing Device and a Method in a Delimbing Device*. Patent US, no. US 6,318,425 B1, 2001.

17. Pamfilov E.A., Pilushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines. *Proceedings of the BALTTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007*. Kaunas, 2007, pp. 67–71.

18. Pamfilov E.A., Sheveleva E.V., Pilyushina G.A. Creating and Applying Antifriction Bearing Wood-Metal Materials. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, iss. 1, pp. 95–99. DOI: 10.3103/S106836661901015X

19. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, iss. 9, pp. 532–535. DOI: 10.3103/S1068798X13090128

20. Porankiewicz B., Iskra P., Sandak J., Tanaka C., Jóźwiak K. High-Speed Steed Tool Wear after Wood Cutting in the Presence of High-Temperature and Mineral Contamination. *Wood Science and Technology*, 2006, vol. 40, iss. 8, pp. 673–682. DOI: 10.1007/s00226-006-0084-7

21. Wildey A.J. *Tree Harvesting and Processing Head*. Patent US, no. 5,785,101, 1998.

## WEAR RESISTANCE IMPROVEMENT OF DELIMBING KNIVES OF MULTIFUNCTIONAL LOGGING MACHINES

***G.A. Pilyushina*[1]**, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: H-1699-2019, ORCID: 0000-0002-2422-0919*
***E.A. Pamfilov*[1]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: H-1866-2019, ORCID: 0000-0002-1522-7246*
***E.V. Sheveleva*[2]**, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: H-2080-2019, ORCID: 0000-0002-1763-6932*
[1]Bryansk State Technical University, bul. 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru
[2]Bryansk State Engineering Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: elshev78@yandex.ru

Delimbing of harvested wood is the first step towards obtaining finished products, where it is necessary to strain after achievement of maximum efficiency in the use of raw materials and quality improvement of the obtained assortment. Herewith, high-quality cleaning and minimization of damage of tree trunks is associated to a great extent with reliable operation of the delimbing and pull-through devices of logging machines that carry out both removal of branches and technological movement of wood. An intensive blunting of delimbing knives occurs in operation of the delimbing and pull-through device. As a result, the forces spent on delimbing increase and the process of stable cutting is disrupted. Partial cutting, and with an increase in pressure on the knives their cutting into a trunk and breaking out of limb occur, which reduce the quality of the harvested wood and lead to further intensification of wearing out of the cutting devices. The wearing out of knives is due to the action of a complex set of mechanical, chemical, temperature and other factors that accompany the technological process. This leads to a change in the dimensions of knife cutting edges. In order to improve the quality of delimbing and at that reduce the energy consumption, it is necessary to assess the influence of geometric and physico-chemical parameters of the cutting knives on their wear resistance, which will allow to theoretically justify the rational geometry of the cutting wedge and requirements for the physico-chemical characteristics of the recommended materials. The force interaction analysis of the cutting wedge with the cut limb has shown that, already at the beginning of the contact, the cutting blade is acted by the shock bending load, which, when peak values are reached, often leads to wearing out by chipping of sufficiently large microvolumes of the cutting edge. In this case, the wearing out of delimbing knives occurs mainly due to the development of microcracks, which are formed as a result of anti-plane deformation when applying stresses, and depends on the parameters of brittle crushing of materials. Moreover, the wearing out becomes more intense with contact with contaminated and wet, and in winter period frozen wood, which leads to intensification of corrosion and mechanical processes in the marginal areas of knife blades. The solution of the problem of increasing the wear resistance of delimbing knives can be provided by optimization of dimensions of knife wedge and formation of favorable physical and mechanical characteristics in the surface layer that minimize the wear intensity. The favorable dimensions of knife wedge were experimentally determined for this purpose. Complex alloyed chromium-nickel steel and rational modes of its heat treatment are proposed for the manufacture of delimbing knifes. Electrodeposition hardening is recommended as the surface treatment, which allows to optimize the surface roughness and form a favorable compressive stress in the marginal areas, thus providing high wear resistance of delimbing knives.
***For citation:*** Pilyushina G.A., Pamfilov E.A., Sheveleva E.V. Wear Resistance Improvement of Delimbing Knives of Multifunctional Logging Machines. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 174–184. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.174

*Keywords:* timber harvesting, delimbimg knives, friction, wear resistance, wedge geometry, tribological parameters, electrodeposition processing.

Поступила 13.06.19 / Received on June 13, 2019

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.032.475.3
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.185

# ВЛИЯНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ В ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛАХ ПЕРЕД СУШКОЙ

***Ш.Г. Зарипов, д-р техн. наук, доц.;*** *ORCID: 0000-0001-6483-2453*
***А.П. Чижов, канд. техн. наук, доц.;*** *ORCID: 0000-0001-8466-8080*
***В.А. Корниенко, канд. техн. наук, доц.;*** *ORCID: 0000-0002-1709-9153*
***Н.И. Семёнова, доц.;*** *ORCID: 0000-0003-1055-3277*
Лесосибирский филиал Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнёва, ул. Победы, д. 29, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662543; e-mail: zaripov_sh@mail.ru, ap_chizhov@mail.ru, kornvlad@mail.ru, semenovawood@mail.ru

Один из значимых факторов, который определяет продолжительность сушки пиломатериалов, – начальная влажность древесины. Общепринято, что количественное содержание воды в стволе любых пород зависит от зоны древесины. Максимальное количество воды содержится в заболонной древесине, в разы меньше – в ядровой. При изучении кинетики сушки лиственничных пиломатериалов установлено отклонение от общепринятых положений по распределению влажности в древесине данной породы, которая на 90 % состоит из ядровой древесины, в пиломатериалах эта цифра достигает 100 %. Полученные данные указывают на наличие определенного фактора, от которого зависит содержание воды в древесине лиственницы сибирской. Таким фактором являются водорастворимые вещества, основу которых составляет арабиногалактан – полисахарид, обладающий полиэлектролитными свойствами и способный удерживать большое количество молекул воды. В работе обосновывается предположение о том, что распределение влажности по сечению доски из лиственницы перед сушкой формируется арабиногалактаном, входящим в состав древесины. Взаимодействуя с водой, он переводит ее из активной фазы в пассивную. Поэтому наличие арабиногалактана в определенных точках бревна влияет на водный баланс древесины и приводит к образованию резких границ размещения воды в древесине. Следовательно, при производстве изделий из древесины лиственницы целесообразно учитывать факт преимущественного сосредоточения этой группы водорастворимых веществ. Цель исследования – обосновать влияние водорастворимых веществ на распределение свободной воды в лиственничных пиломатериалах перед сушкой.
***Для цитирования:*** Зарипов Ш.Г., Чижов А.П., Корниенко В.А., Семёнова Н.И. Влияние водорастворимых веществ на распределение влажности в лиственничных пиломатериалах перед сушкой // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 185–193. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.185

*Ключевые слова*: лиственница сибирская, свободная вода, водорастворимые экстрактивные вещества, арабиногалактан, влагоперенос, сушка.

### *Введение*

Начальная влажность древесины оказывает существенное влияние на длительность процесса сушки пиломатериалов любой породы, включая лиственницу.

Общепринято, что количество начальной влаги в стволе определяется зоной древесины. Максимальное содержание влаги наблюдается в заболонной древесине, значительно меньше увлажнена древесина в ядровой зоне.

Влагу в древесине принято делить на связанную и свободную [9, 15–19]: связанная находится в клеточных стенках, свободная – в полостях клеток. Эта классификация позволяет объяснить основные процессы влагопереноса с позиции физики капиллярных явлений при сушке такой породы древесины, как сосна [5, 10, 13, 20 и др.].

Свободная влага, которая содержится в коллоидных капиллярно-пористых телах, обладает свойствами, присущими воде без примесей [12]. Тогда температура фазового перехода воды (например, образование льдинок), которая заполняет внутриклеточные полости, будет немного ниже нуля, т. е. $t_{\text{пер}} \leq 0$ °С.

Применительно к лиственнице согласиться с подобным утверждением достаточно сложно, так как оно противоречит такому понятию, как «жизнеспособность» дерева при низких температурах. Доказано, что «морозоустойчивость» растущего дерева повышается путем накопления в полостях клеток различного вида олигосахаров [14 и др.], что предотвращает образование льда в полостях клеток при $t_0 << 0$ °С.

Влияние экстрактивных веществ на распределение влажности в лиственничных пиломатериалах наглядно прослеживается при измерении этого показателя электровлагомерами. Электропроводимость древесины устанавливается заряженностью водного раствора экстрактивных веществ. Следовательно, в древесине содержится не чистая вода, а электролит.

Из вышесказанного следует, что воду, которая заполняет полости клеток, можно принимать как свободную только относительно древесинного вещества. Данное утверждение основывается на том, что вода, являясь универсальным растворителем, способна формировать полиэлектролитные растворы, которые образуются в результате диссоциации водорастворимых экстрактивных веществ [8]. Следовательно, правильнее говорить о наличии в древесине лиственницы водного раствора экстрактивных веществ.

Авторы работы [6] сформулировали основные положения технологии сушки лиственничных пиломатериалов с позиции баромембранного процесса. В результате реализации указанного процесса из древесины лиственницы выводятся водный раствор экстрактивных веществ и парогазовая смесь. При таком подходе к рассмотрению процесса сушки обязательным условием является изучение влияния водорастворимых веществ на распределение влажности перед сушкой.

Цель данного исследования – обоснование влияния водорастворимых веществ на распределение свободной воды в лиственничных пиломатериалах перед сушкой.

### *Объекты и методы исследования*

Для исследования был выбран весовой способ измерения влажности древесины. В зависимости от поставленной задачи использовались различные объемы изучаемой древесины. Так, при рассмотрении распределения влажности по длине доски применяли стандартную методику по ГОСТ 16588–91 (рис. 1), а по поперечному сечению доски – видоизмененную методику по ГОСТ 16588–91, в которой в качестве объекта измерения выступали ламели размерами 5×10×(30…40) мм (рис. 2). Отличительной особенностью выбранного способа измерения влажности является его относительная надежность и простота в получении результатов.

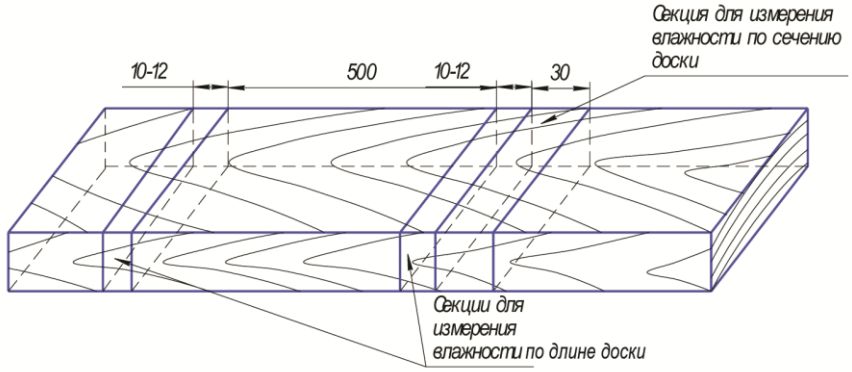



Рис. 1. Схема отбора проб для измерения влажности по длине и поперечному сечению доски

Fig. 1. Sampling procedure of humidity measuring of a board

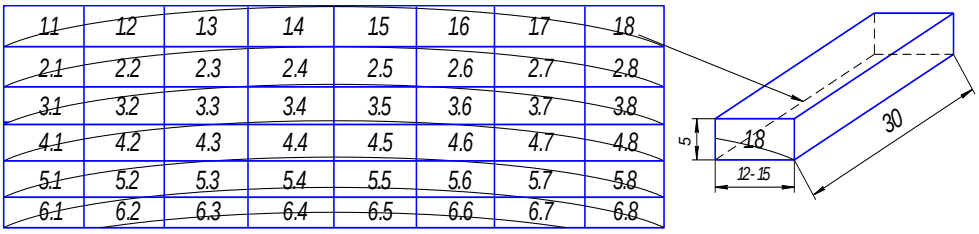



Рис. 2. Разметка секции (координата ламели на торце доски) для определения поля влажности по сечению доски (первая цифра координаты пробы – номер строки; вторая – номер столбца)

Fig. 2. Section laying out (lamella's coordinate on the board end) for determining the humidity field along the board cross section (the first digit of the sample coordinate is the row number; the second digit is the column number)

Перед каждой загрузкой образцов в сушильную установку выпиливали 3-4 пробы по длине доски. Опытные сушки проводили в течение 2 лет.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты измерения показали, что влажность по длине доски отличается неравномерностью. Отклонение от среднего значения составляет 7…11 % (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение влажности лиственничных пиломатериалов по длине доски**

| № п/п | Влажность в точке, % | Среднее значение $W_{ср}$, % | Разброс влажности $\Delta W$, % |
|---|---|---|---|
| 1 | 31,30; 30,50; 26,90; 31,20; 37,00 | 31,38 | 10,10 |
| 2 | 39,97; 43,55; 32,07; 37,83 | 38,36 | 11,48 |
| 3 | 56,1; 59,0; 62,38; 64,72; 64,89; 62,6; 60,93 | 61,52 | 8,79 |
| 4 | 42,67; 49,86; 44,0; 47,45 | 46,00 | 7,19 |
| 5 | 57,24; 39,00; 63,84; 46,48; 85,19 | 58,35 | 46,19 |
| 6 | 58,69; 65,82; 59,36; 74,39 | 64,57 | 15,70 |
| 7 | 45,42; 34,96; 36,89; 38,99; 38,21 | 38,89 | 10,46 |
| 8 | 48,00; 45,30; 46,60; 38,00 | 44,48 | 10,00 |
| 9 | 31,21; 38,67; 43,03; 41,10 | 38,50 | 11,82 |
| 10 | 55,30; 50,70; 51,50; 45,00 | 50,63 | 10,30 |
| 11 | 60,98; 65,69; 70,00; 63,00 | 64,92 | 9,02 |

Полученные данные указывают на то, что содержание влаги зависит от радиуса бревна. Такой вывод в полной мере согласуется с выводом авторов работы [4], где указано, что большая часть арабиногалактана сосредоточена в ядровой зоне на границе с заболонной, а также в комле.

На рис. 3 представлена одна из серий определения поля влажности по сечению лиственничной доски размером 25×100 мм. Измерения влагосодержания (всего 50 замеров) проводили по схеме, приведенной на рис. 2.

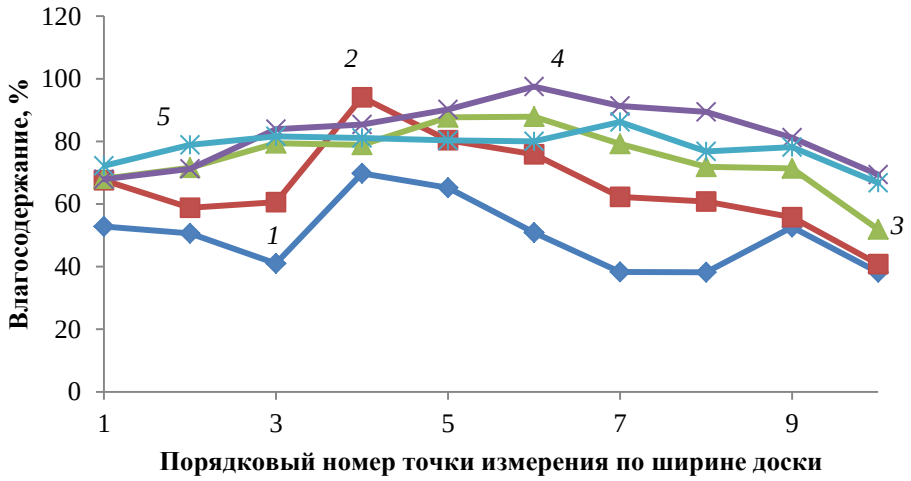



Рис. 3. Распределение начальной влажности по сечению лиственничной доски размерами 25×100 мм ($W_{ср}$ = 71,9 %): *1* – 1-й ряд по толщине доски; *2* – 2-й ряд; *3* – 3-й ряд; *4* – 4-й ряд; *5* – 5-й ряд

Fig. 3. Distribution of initial humidity along the section of a larch board measuring 25×100 mm (average humidity $W_{ср}$ = 71.9 %): *1* – 1st row by the board thickness; *2* – 2nd row; *3* – 3rd row; *4* – 4th row; *5* – 5th row

Распределение влажности свидетельствует о наличии участков, где наблюдается локализация влаги. Так, в одном сечении встречаются точки с влажностью 40,0 и 99,0 %. Такое распределение объясняется наличием арабиногалактана, посредством которого влага локализуется в определенной точке древесины.

В табл. 2 приведены данные статистической обработки результатов измерения влажности перед сушкой для двух толщин досок (25 и 50 мм) из древесины лиственницы.

Таблица 2

**Начальная влажность лиственничных пиломатериалов в зависимости от толщины доски**

| Параметр | Значение параметра при толщине доски, мм | |
|---|---|---|
| | 25 | 50 |
| Размер выборки, шт. | 120,00 | 89,00 |
| Среднее значение, % | 46,26 | 48,56 |
| Дисперсия ($\sigma^2$) | 206,69 | 178,88 |
| Среднее квадратичное отклонение ($\sigma$) | 14,38 | 13,37 |
| Коэффициент вариации ($\gamma$) | 31,10 | 27,53 |
| Разброс влажности ($\Delta W$), % | 56,59 | 58,23 |
| Минимальное значение $W_{min}$, % | 30,20 | 30,00 |
| Максимальное значение $W_{max}$, % | 86,79 | 88,23 |

Полученные данные дают основание утверждать, что влагосодержание ядровой зоны свежесрубленной древесины лиственницы является параметром, имеющим значительную изменчивость как по длине доски, так и по ее поперечному сечению. Среднее значение влажности – 46,26…48,56 %, что согласуется с данными, имеющимися в специальной литературе [1].

Содержание воды в древесине перед сушкой непосредственно связано с водным потенциалом растущего дерева. Под термином «водный потенциал» понимается способность воды в данной системе совершать работу (перераспределяться в определенном направлении) по сравнению с той работой, которую совершила бы чистая вода [14]. Из этого следует, что чем чище вода, тем выше ее подвижность. Тогда необходимо определить наличие примеси в той воде, которая наполняет полости клеток древесины лиственницы.

Существует множество способов определения примесей в воде. Наиболее доступный для древесины любой породы – анализ ее электропроводимости (диэлектрической проницаемости), по которой устанавливается присутствие в воде разнозаряженных радикалов.

Опыт измерения влажности древесины электровлагомерами дает основание утверждать, что древесина вообще и лиственница в частности наполнены электролитом. Этот вывод основывается на том, что все электровлагомеры измеряют электропроводимость древесины.

Из анализа многочисленных измерений влажности древесины лиственницы электровлагомерами можно сформулировать два основополагающих вывода:

количество растворенных веществ в древесине лиственницы тем больше, чем выше начальная влажность; с увеличением содержания воды в древесине наблюдается увеличение количества растворенных экстрактивных веществ [14];

растворенные вещества по стволу дерева располагаются крайне неравномерно, что приводит к значительным ошибкам при измерении начальной влажности древесины электровлагомерами при $W_{\text{Н}} > 30$ %.

Для древесины лиственницы наиболее значимым полисахаридом является арабиногалактан, обладающий полиэлектролитными свойствами и способный удерживать большое количество молекул воды за счет гидроксильных и альдегидных групп [2, 8 и др.].

Данному явлению способствует то, что молекула воды полярна и поляризуема. Следовательно, наличие воды в сырой древесине в виде разнозаряженных радикалов ($OH^-$, $H^+$) [11] создает условия, при которых молекулы арабиногалактана, окруженные диполями растворителя (воды), находятся в разобщенном состоянии [8]. В древесине лиственницы превалируют положительно заряженные радикалы, создавая кислую среду (pH 4,8) [6].

Общее количество водорастворимых экстрактивных веществ в ядровой зоне древесины лиственницы по одним литературным источникам достигает 23,7 % [3], а по другим – 35,0 % [7] от массы абс. сухой древесины. Эти вещества по стволу дерева распределяются крайне неравномерно. Как отмечалось выше, арабиногалактан преимущественно концентрируется в комлевой части ствола [4], а также в ядровой зоне бревна, прилегающей к заболонной.

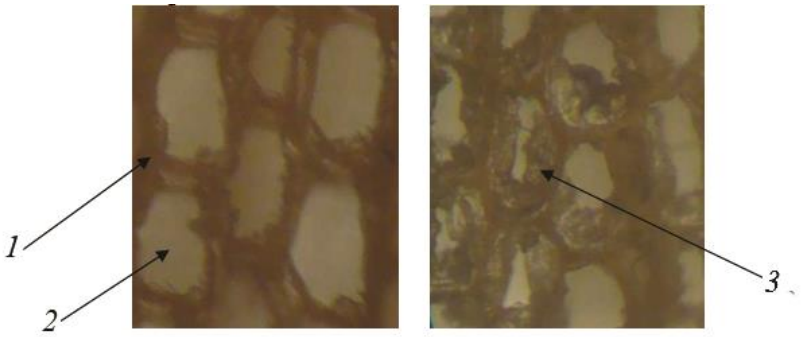
С уменьшением исследуемого объема древесины анизотропия распределения экстрактивных веществ увеличивается. Указанную закономерность можно проследить на примере отдельно взятого годичного слоя. На срезах

поперечного сечения годичного слоя наблюдается различная наполненность полостей клеток ранней древесины кристалликами (сухой остаток) экстрактивных веществ (рис. 4, позиция *3*).

Этот пример указывает на то, что в каждом элементарном объеме древесины наблюдается локализация экстрактивных веществ и, как следствие, влаги. Тогда водный потенциал элементарного объема древесины лиственницы ($\psi_w$) и, соответственно, водный баланс определяются соотношением осмотического потенциала ($\psi_\pi$) и потенциала давления ($\psi_p$):

$$\psi_w = \psi_\pi + \psi_p.$$

Из уравнения следует, что осмотическое давление, которое формируется при растворении экстрактивных веществ, блокируется сопротивлением межклеточных мембран, в результате чего происходит локализация водного раствора в местах сосредоточения водорастворимых экстрактивных веществ.




*а* *б*

Рис. 4. Поперечный разрез ранней зоны годичного слоя древесины лиственницы сибирской под микроскопом (× в 200 раз): *а* – полости клеток без кристалликов экстрактивных веществ; *б* – полости клеток, наполненные кристалликами экстрактивных веществ; *1* – стенка клетки ранней древесины; *2* – полость клетки ранней древесины; *3* – кристаллики экстрактивных веществ

Fig. 4. Cross section of the annual ring early wood of Siberian larch under the microscope (× 200 times): *а* – lumens without crystals of extractives; *б* – lumens filled with crystals of extractives; *1* – cell wall of early wood; *2* – lumen of early wood; *3* – crystals of extractives

Следовательно, водорастворимые экстрактивные вещества влияют на количественное содержание свободной влаги в свежесрубленной древесине, а по количеству свободной влаги можно прогнозировать наличие водорастворимых веществ. Данное положение необходимо учитывать не только при непосредственной сушке, но и в процессе производства изделий из древесины лиственницы определенного назначения.

Это связано с тем, что при сушке лиственницы наблюдается экстракция водорастворимых веществ. Количество экстрагируемых веществ зависит от начальной влажности. В результате интенсивность удаления влаги из лиственничных пиломатериалов зависит от наличия водорастворимых экстрактивных веществ [6]. Увеличенное содержание водорастворимых веществ интенсивнее блокирует вывод влаги из древесины лиственницы, поэтому данный эффект необходимо учитывать при разработке технологии сушки.

*Выводы*

1. Водный баланс древесины лиственницы зависит от содержания водорастворимых экстрактивных веществ.

2. Водорастворимые экстрактивные вещества по стволу растущего дерева распределены неравномерно. Следовательно, вода в полостях клеток ранней древесины по стволу дерева и, соответственно, по доске перед сушкой также распределяется неравномерно.

3. При измерении начальной влажности древесины лиственницы влагомерами следует вносить коррективы на ошибку по причине неравномерности распределения водорастворимых экстрактивных веществ по стволу дерева.

4. По количеству начальной влажности можно установить наличие экстрактивных веществ в ядровой зоне древесины лиственницы, что позволяет корректировать процесс сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Алексеева Т.В., Беленькая Н.Г., Чочиева М.М., Антоновский С.Д., Терпуков А.Ф.* Влияние арабиногалактана на свойства бумаги // Химия древесины. 1978. № 5. С. 104–109. [Alekseyeva T.V., Belen'kaya N.G., Chochiyeva M.M., Antonovskiy S.D., Terpukov A.F. The Effect of Arabinogalactan on Paper Properties. *Khimiya drevesiny*, 1978, no. 5, pp. 104–109].

2. *Бокщанин Ю.Р.* Обработка и применение древесины лиственницы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с. [Bokshchanin Yu.R. *Processing and Use of Larch Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p.].

3. *Бочков А.Ф., Афанасьев В.А., Заиков Г.Е.* Образование и расщепление гликозидных связей. М.: Наука, 1978. 179 с. [Bochkov A.N., Afanas'yev V.A., Zaikov G.E. *The Formation and Cleavage of Glycosidic Bonds*. Moscow, Nauka Publ., 1978. 179 p.].

4. *Гвоздева Э.Н., Шарков В.И.* Об изменении химического состава древесины лиственницы сибирской (*LARIX SIBIRIKA*) с возрастом // Химия древесины. 1972. № 12. С. 45–48. [Gvozdeva E.N., Sharkov V.I. On the Change of Chemical Composition of Siberian Larch Wood (*LARIX SIBIRIKA*) with Age. *Khimiya drevesiny*, 1972, no.12, pp. 45–48].

5. *Гороховский А.Г.* Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов тепломассопереноса в древесине: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. 39 с. [Gorokhovskiy A.G. *Drying Schedule of Lumber Based on Simulation and Optimization of Heat and Mass Transfer Processes in Wood*: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2008. 39 p.].

6. *Зарипов Ш.Г.* Совершенствование технологии сушки лиственничных пиломатериалов: дис. … д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 244 с. [Zaripov Sh.G. *Improving the Technology of Larch Lumber Drying*: Dr. Eng. Sci. Diss. Arkhangelsk, NArFU, 2016. 244 p.].

7. *Левин Э.Д., Денисов О.Б., Пен Р.З.* Комплексная переработка лиственницы. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 224 с. [Levin E.D., Denisov O.B., Pen R.Z. *Complex Processing of Larch*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 224 p.].

8. *Медведева С.А., Александрова Г.П., Танцырев А.П.* Гель-проникающая хроматография арабиногалактана // Лесн. журн. 2002. № 6. С. 108–114. [Medvedeva S.A., Alexandrova G.P., Tantsyrev A.P. Gel-Penetrating Chromatography of Arabinogalactan. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2002, no. 6, pp. 108–114]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/c05/c05c363868a82d9b3750175eb6419612.pdf

9. *Ребиндер П.А.* О формах связи влаги с материалом в процессе сушки // Всесоюз. науч.-техн. совещание по сушке. Пленарные заседания. М., 1958. С. 20–33. [Rebinder P.A. On the Forms of Connection of the Material with Water in Drying. *All-Union Scientific and Technical Meeting on Drying. Plenary Sessions*. Moscow, 1958, pp. 20–33].

10. *Серговский П.С.* Гидротермическая обработка и консервирование древесины. 3-е изд., перераб. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 400 с. [Sergovskiy P.S. *Hydrothermal Processing and Preservation of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975. 400 p.].

11. *Уразаев В.* Растворители // Технологии электронной промышленности. 2006. № 1. С. 44–49. [Urazayev V.A. Solvents. *Tekhnologii elektronnoy promyshlennosti* [Technologies in Electronic Industry], 2006, no. 1, pp. 44–49].

12. *Чудинов Б.С.* Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 267 с. [Chudinov B.S. *Moisture in Timber*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 267 p.].

13. *Шубин Г.С.* Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 248 с. [Shubin G.S. *Physical Principles and Calculation of Wood Drying Processes*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 248 p.].

14. *Якушкина Н.И., Бахтенко Е.Ю.* Физиология растений. М.: Владос, 2005. 464 с. [Yakushkina N.I. Bakhtenko E.Yu. *Plant Physiology*. Moscow, Vlados Publ., 2005. 464 p.].

15. Almeida G., Gagné S., Hernández R.E. A NMR Study of Water Distribution in Hardwoods at Several Equilibrium Moisture Contents. *Wood Science and Technology*, 2007, vol. 41, pp. 293–307. DOI: 10.1007/s00226-006-0116-3

16. Gezici-Koç Ö., Erich S.J.F., Huinink H.P., van der Ven L.G.J., Adan O.C.G. Bound and Free Water Distribution in Wood during Water Uptake and Drying as Measured by 1D Magnetic Resonance Imaging. *Cellulose*, 2017, vol. 24, iss. 2, pp. 535–553. DOI: 10.1007/s10570-016-1173-x

17. Panshin A.J., de Zeeuw C. Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. Vol. 1. *Textbook of Wood Technology*. New York, McGraw-Hill College, 1980. 736 p.

18. Simpson W.T. *Specific Gravity, Moisture Content, and Density Relationship for Wood*. General Technical Report FPL-GTR-76. Madison, WI, United States Department of Agriculture, 1993. 16 p.

19. Skaar C. *Wood-Water Relations*. Berlin, Springer-Verlag, 1988. 283 p. DOI: 10.1007/978-3-642-73683-4

20. Wengert E.M. *Principles and Practices of Drying Lumber*. Blacksburg, VA, 2006. 59 p.

## THE INFLUENCE OF WATER-SOLUBLE SUBSTANCES ON MOISTURE DISTRIBUTION IN LARCH LUMBER BEFORE DRYING

***Sh.G. Zaripov,*** *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0001-6483-2453*
***A.P. Chizhov,*** *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0001-8466-8080*
***V.A. Kornienko,*** *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0002-1709-9153*
***N.I. Semenova,*** *Assoc. Prof.; ORCID: 0000-0003-1055-3277*
Lesosibirsk Branch of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ul. Pobedy, 29, Lesosibirsk, 662543, Russian Federation; e-mail: zaripov_sh@mail.ru, ap_chizhov@mail.ru, kornvlad@mail.ru, semenovawood@mail.ru

The initial moisture content of wood is one of the major factors that determines the duration of lumber drying. It is generally accepted that the water content in the tree trunk, regardless of breed, depends on the zone of wood. The maximum amount of water can be found in sapwood, times less – in core wood. Deviation from the generally accepted provisions for the distribution of moisture in larch wood was found when studying the kinetics of lumber drying. Larch wood is 90 % core wood, and in lumber it is up to 100 %. The obtained data indicate the presence of a certain factor that determines the water content in Siberian larch wood. Such a factor is water-soluble substances, the basis of which is arabinogalactan; a polysaccharide with polyelectrolyte properties and capable of retaining a large number of water molecules. The article substantiates the assumption that moisture distribution in the

cross section of a larch board before drying is formed by arabinogalactan, which is a part of wood. Arabinogalactan dissolving transfers water from the active phase to the passive one. Therefore, the presence of arabinogalactan at certain points of a log influences the water balance and leads to the formation of sharp boundaries of water distribution in wood. Consequently, it is reasonable to take into consideration the fact of predominant concentration of this group of water-soluble substances in the production of larch wood products. The research purpose is to justify the influence of water-soluble substances on the distribution of free water in larch lumber before drying.

***For citation:*** Zaripov Sh.G., Chizhov A.P., Kornienko V.A., Semenova N.I. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber before Drying. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 185–193. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.185

*Keywords:* Siberian larch, free water, water-soluble extractives, arabinogalactan, moisture transfer, drying.

Поступила 13.05.19 / Received on May 13, 2019

УДК 621.311
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОЦЕССА РАМНОЙ РАСПИЛОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

***С.П. Агеев, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: AAB-1356-2019,*
*ORCID: 0000-0003-0362-6722*
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Составление и анализ электрических балансов промышленных объектов является одним из основных элементов комплекса работ, связанных с решением задач по экономии топлива и энергии. Электрический баланс – важная характеристика состояния электрического хозяйства предприятия, отражающая полное количественное соответствие между суммарной подведенной электроэнергией с одной стороны и суммарной полезной электроэнергией и ее потерями – с другой. Экспериментальные исследования, проведенные на ряде предприятий деревообрабатывающего комплекса, показали, что на этих производствах имеются значительные резервы экономии энергии. Их использование во многом зависит от правильной организации и технико-экономической обоснованности нормирования расходов электроэнергии. Нормированию подлежат все расходы электрической энергии на основные и вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды, включая потери в электрических сетях. При нормировании расхода электроэнергии различают индивидуальные операционные и суммарные нормы удельного расхода. В настоящей статье предлагается подход к установлению операционной нормы удельного расхода электроэнергии при распиловке древесины на лесопильных рамах, учитывающий случайный характер размеров пиловочного сырья, а также потери электроэнергии в электрической сети. Для выполнения исследований использованы линейная модель графика потребляемой активной мощности двигателя механизма резания, а также методы теории вероятностей. В результате определены плотности распределения абсолютного и удельного расходов электроэнергии с учетом ее потерь в электрической сети, а также их числовые характеристики, установлены зависимости параметров линейной модели электропотребления от размеров пиловочного сырья и параметров работы лесопильных рам. Предложенные результаты могут быть использованы при составлении и анализе энергетических балансов в ходе решения задач нормирования электропотребления на деревообрабатывающих предприятиях. При анализе модели электропотребления было установлено, что ее показатели, являясь случайными величинами, имеют распределение, отличное от распределения Гаусса. Однако в целях упрощения дальнейшего анализа режима электропотребления плотность вероятностей была аппроксимирована нормальным законом распределения. Средняя ошибка аппроксимации не более 0,02 %. Также были получены формулы для расчета показателей электропотребления в зависимости от размеров пиловочного сырья.
***Для цитирования:*** Агеев С.П. Математическое моделирование электропотребления процесса рамной распиловки древесины // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 194–201. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

*Ключевые слова*: лесопильная рама, эффективное и операционное время рабочего цикла, потребляемая активная мощность, удельный расход электроэнергии, плотность распределения вероятностей, геометрические размеры пиловочного сырья.

## *Введение*

Одной из важнейших задач развития топливно-энергетического комплекса страны в настоящее время является повышение эффективности

использования и экономии энергетических ресурсов. При этом лесопильное производство, относящееся к основным процессам механической обработки древесины, представляет собой довольно сложный энергоемкий процесс [3].

При составлении и анализе электрического баланса часто не учитываются технологические факторы, от которых зависит потребление электроэнергии. Кроме этого, технологический процесс распиловки древесины обладает свойствами вероятностных процессов – форма и размеры пиловочного сырья носят случайный характер, длительность технологических операций также подвержена случайным колебаниям и т. д. [1].

В этих условиях одним из возможных способов повышения качества составления и анализа электрических балансов является использование показателей графиков мощности энергоемких потребителей или их моделей [7–9]. Вопросам составления энергетических балансов различных производств посвящены работы российских ученых [6, 11–13, 16].

*Объекты и методы исследования*

Цель настоящего исследования – разработка подхода к установлению удельного расхода электроэнергии на распиловку древесины лесопильными рамами (ЛР) с учетом случайного характера показателей пиловочного сырья и потерь электроэнергии в сети.

Решению аналогичных задач посвящен ряд работ зарубежных ученых [17–20 и др.], в которых представлены различные подходы и методы.

В работе [2] нами была предложена математическая модель графика нагрузки лесопильной рамы за операционное время цикла $\tau_э$.

Показатели этой модели:

минимальное $P_{мин}$ и максимальное $P_{макс}$ значения активной мощности;

мощность $P_в$, потребляемая во вспомогательном времени цикла;

среднее значение мощности за эффективное время цикла

$$P_{с.э} = \frac{P_{макс} + P_{мин}}{2}; \quad (1)$$

среднеквадратическая мощность за эффективное время цикла

$$P^2_{ск.э} = \frac{P^2_{макс} + P_{мин}P_{макс} + P^2_{макс}}{3}. \quad (2)$$

Тогда количество электроэнергии, потребляемое за эффективное время цикла:

$$W_э(L) = P_{с.э}\tau_э = \frac{P_{мин} + P_{макс}}{2}\frac{L}{u} = \frac{2P_{мин} + bL}{2u}L = \frac{P_{мин}}{u}L + \frac{b}{2u}L^2,$$

или

$$W_э(L) = a_wL^2 + b_wL,$$

где $b = 0{,}5c_дc\sqrt{\pi u}$ – коэффициент, учитывающий прирост максимальной мощности при увеличении длины бревен $L$ на 1 м; $u$ – скорость подачи; $c_д$ – коэффициент энергоемкости; $c$ – средний сбег бревен; $a_w$, $b_w$ – коэффициенты, характеризующие режим электропотребления ЛР: $a_w = b/2u$; $b_w = P_{мин}/u$.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Потери электроэнергии на участке электрической сети рассчитываются по выражению [7]:

$$\Delta W_э = 3I^2_{ск.э}R\tau_э, \quad (3)$$

где $I_{ск.э}$ – среднеквадратическое значение тока за время $\tau_э$, определяется по следующей формуле [15]:

$$I^2_{ск.э} = \frac{P^2_{ск.э}}{3(U_л \cos\varphi)^2}; \quad (4)$$

$U_л$ – линейное напряжение сети; cosφ – коэффициент мощности двигателя; $R$ – активное сопротивление участка сети.

В этом случае потери электроэнергии в сети

$$\Delta W_э = \frac{P^2_{ск.э} R}{(U_л \cos\varphi)^2}\tau_э. \quad (5)$$

Для составления электрического баланса найдем формулу среднеквадратической мощности как функцию размеров распиливаемого сырья и параметров режима ЛР:

$$P^2_{ск} = \frac{P^2_{мин} + P_{макс}P_{мин} + P^2_{макс}}{3} = \frac{(P_{мин} + P_{макс})^2 - P_{мин}P_{макс}}{3}, \quad (6)$$

или

$$P^2_{ск} = \frac{(P_{мин} + P_{мин} + bL)^2 - P_{мин}(P_{мин} + bL)}{3} = P^2_{мин} + P_{мин}bL + \frac{b^2}{3}L^2.$$

Найдем выражение плотности распределения потерь электроэнергии в сети за эффективное время цикла. Тогда с учетом (6) имеем:

$$\Delta W_э(L) = \left(P^2_{мин}P_{мин}bL + \frac{b^2}{3}L^2\right)\frac{R}{(U_л \cos\varphi)^2}\frac{L}{u} =$$

$$= \frac{P^2_{мин}R}{u(U_л \cos\varphi)^2}L + \frac{P_{мин}bR}{u(U_л \cos\varphi)^2}L^2 + \frac{b^2R}{3u(U_л \cos\varphi)^2}L^3,$$

или

$$\Delta W_э(L) = a_{\Delta w}L^3 + b_{\Delta w}L^2 + c_{\Delta w}L, \quad (7)$$

где $a_{\Delta w}$, $b_{\Delta w}$, $c_{\Delta w}$ – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие потери электроэнергии в питающей сети.

Общее потребление электроэнергии с учетом потерь в питающей сети в зависимости от длины бревен определяется по формуле:

$$W_{\Sigma э}(L) = W_э(L) + \Delta W_э(L) = a_w L^2 + b_w L + a_{\Delta w}L^3 + b_{\Delta w}L^2 + c_{\Delta w}L =$$
$$= a_{\Delta w}L^3 + (a_w + b_{\Delta w})L^2 + (b_w + c_{\Delta w})L = a_\Sigma L^3 + b_\Sigma L^2 + c_\Sigma L, \quad (8)$$

где $a_\Sigma = a_{\Delta w}$, $b_\Sigma = a_w + b_{\Delta w}$, $c_\Sigma = b_w + c_{\Delta w}$ – постоянные (при определенных условиях коэффициенты, характеризующие общее потребление электроэнергии.

Из (8) следует, что общий объем электроэнергии, включающий в себя потери электроэнергии в сети, является функцией случайной длины $L$ бревен, а поэтому $W_{\Sigma э} = f(L)$ также случайная величина.

Можно показать, что коэффициент $a_\Sigma$ в (8) составляет от суммы двух других коэффициентов не более 0,00062 %. Если этим слагаемым пренебречь, то ошибка в определении $W_{\Sigma э}(L)$ составит менее 0,028 %, что вполне допустимо при решении поставленной задачи.

Для нахождения плотности распределения функции $W_{\Sigma э}(L)$ случайного аргумента $L$ применим методику, изложенную в [5].

Тогда

$$g(W_{\Sigma э})=\frac{1}{\sigma_L\sqrt{2\pi\left(c_\Sigma^2+4b_\Sigma W_{\Sigma э}\right)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma W_{\Sigma э}}-c_\Sigma-2b_\Sigma ML}{2b_\Sigma\sigma_L}\right)^2\right], \qquad (9)$$

где $\sigma_L$ – среднее квадратическое отклонение длины бревен.

Из выражения (9) следует, что потребление электроэнергии за эффективное время распределено не по нормальному закону Гаусса. Аппроксимируем плотность распределения (9) плотностью нормального распределения, сохраняя при этом вероятностные характеристики случайной величины $W_{\Sigma э}$.

Используя свойства математического ожидания, найдем математическое ожидание общего потребления электроэнергии:

$$MW_{\Sigma э} = M\,(b_\Sigma L^2 + c_\Sigma L) = b_\Sigma ML^2 + c_\Sigma ML,$$

или с учетом

$$ML^2 = DL + (ML)^2$$

окончательно будем иметь

$$MW_{\Sigma э} = b_\Sigma DL + b_\Sigma (ML)^2 + c_\Sigma ML, \qquad (10)$$

где $D$ – дисперсия длины бревна.

Для определения дисперсии $DW_{\Sigma э}$ приравняем плотности распределения (9) и нормального закона:

$$\frac{1}{\sigma_L\sqrt{2\pi\left(c_\Sigma^2+4b_\Sigma W_{\Sigma э}\right)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma W_{\Sigma э}}-c_\Sigma-2b_\Sigma ML}{2b_\Sigma\sigma_L}\right)^2\right]=$$

$$=\frac{1}{\sigma_{W_{\Sigma э}}\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(W_{\Sigma э}-MW_{\Sigma э})^2}{2D(W_{\Sigma э})}\right]. \qquad (11)$$

Подставим в (11) $W_{\Sigma э} = MW_{\Sigma э}$:

$$\frac{1}{\sigma_L\sqrt{2\pi\left(c_\Sigma^2+4b_\Sigma MW_{\Sigma э}\right)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma MW_{\Sigma э}}-c_\Sigma-2b_\Sigma ML}{2b_\Sigma\sigma_L}\right)^2\right]=\frac{1}{\sigma_{W_{\Sigma э}}\sqrt{2\pi}},$$

откуда среднеквадратическое отклонение потребления электроэнергии

$$\sigma_{W_{\Sigma э}} = \sigma_L\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma MW_{\Sigma э}}\exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma MW_{\Sigma э}}-c_\Sigma-2b_\Sigma ML}{2b_\Sigma\sigma_L}\right)^2\right]. \qquad (12)$$

Можно показать, что при конкретных технических параметрах ЛР и геометрических характеристиках распиливаемого сырья в выражении (12) сомножитель

$$\exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{\sqrt{c_\Sigma^2+4b_\Sigma MW_{\Sigma э}}-c_\Sigma-2b_\Sigma ML}{2b_\Sigma\sigma_L}\right)^2\right]\approx 1. \qquad (13)$$

В этом случае дисперсия общего потребления электроэнергии за эффективное время цикла может быть вычислена по формуле

$$DW_{\Sigma э} = DL[c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}MW_{\Sigma э}]. \quad (14)$$

Аппроксимация реального закона распределения случайной величины $W_{\Sigma э}$ нормальным вносит ошибку в определение дисперсии менее 0,0001 %, что вполне допустимо для решения поставленной задачи.

Удельный расход электроэнергии по распилу сырья за эффективное время цикла

$$d_э = \frac{W_{\Sigma э}}{V} = \frac{4\left(b_{\Sigma}L^2 + c_{\Sigma}L\right)}{\pi D_{ср}^2 L} = \frac{4(b_{\Sigma}L + c_{\Sigma})}{\pi(d_в + 0{,}5cL)^2} = \frac{4c_{\Sigma} + 4b_{\Sigma}L}{\pi(d_в + 0{,}5cL)^2},$$

где $V$ – объем бревна; $D_{ср}$ – средний диаметр бревна, $D_{ср} = d_в + 0{,}5cL$; $d_в$ – вершинный диаметр бревна [14].

Найдем плотность распределения удельного расхода электроэнергии (УРЭ), применив изложенную выше методику. В результате получим следующие характеристики:

математическое ожидание

$$Md_э = \frac{4c_{\Sigma} + 4b_{\Sigma}ML}{\pi(d_в + 0{,}5cML)^2};$$

дисперсия

$$- \quad Dd_э = DL\frac{\pi^2 c^4\left[4b_{\Sigma}^2 + k\right](Md_э)^4}{4\left[8b_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}\sqrt{4b_{\Sigma}^2 + k} + k\right]^2},$$

где $k$ – постоянный (при определенных условиях) коэффициент,

$$k = (\pi c^2 c_{\Sigma} - 2\pi\, d_в c b_{\Sigma})Md_э.$$

Найдем закон распределения общего потребления электроэнергии за операционное время цикла. Тогда с учетом (11)

$$W_о = W_{\Sigma э} + W_в = a_{\Sigma}L^3 + b_{\Sigma}L^2 + c_{\Sigma}L + P_в\tau_в, \quad (15)$$

где $W_в$ – электроэнергия, потребляемая за вспомогательное время цикла.

Из (15) следует, что общее электропотребление $W_о$ является линейной функцией аргумента $W_{\Sigma э}$, а потому также может быть аппроксимировано нормальным распределением со следующими характеристиками:

математическое ожидание

$$MW_о = MW_{\Sigma э} + \mathrm{M}W_в = b_{\Sigma}DL + b_{\Sigma}(ML)^2 + c_{\Sigma}ML + P_в\tau_в;$$

дисперсия

$$DW_о = DW_{\Sigma э} = DL[c_{\Sigma}^2 + 4b_{\Sigma}(b_{\Sigma}DL + b_{\Sigma}(ML)^2 + c_{\Sigma}ML)].$$

Найдем плотность распределения и числовые характеристики удельного расхода электроэнергии $d_о$ по распилу сырья за операционное время цикла. Тогда удельный расход электроэнергии (УРЭ) за операционное время цикла

$$d_о = \frac{W_о}{V} = \frac{W_{\Sigma э} + W_в}{V} = \frac{W_{\Sigma э}}{V} + \frac{W_в}{V} = d_э + \frac{4W_в}{\pi D_{ср}^2 L}. \quad (16)$$

Из (16) следует, что чем больше длина бревен $L$ (их объем $V$), тем меньше влияние межторцовых разрывов на УРЭ $d_о$ и тем он меньше отличается от $d_э$.

Как показывают расчеты, второе слагаемое в правой части (16) составляет не более 1,2 % от УРЭ $d_э$, поэтому не оказывает существенного влияния на формирование закона распределения УРЭ $d_о$. На этом основании можно считать, что УРЭ $d_о$ за операционное время цикла приближенно представляет собой нормально распределенную случайную величину.

Математическое ожидание и дисперсия УРЭ $d_о$ могут быть определены по следующим формулам:

$$Md_о = Md_э + \frac{4w_в}{\pi} M\left(\frac{1}{D_{ср}^2 L}\right) = Md_э + \frac{w_в}{MV}; \quad (17)$$

$$Dd_о = Dd_э + \frac{16w_в^2}{\pi^2} D\left(\frac{1}{D_{ср} L}\right), \quad (18)$$

где $MV$ – математическое ожидание объема бревен данного диаметра; $Dd_о$ – дисперсия УРЭ.

Как показали расчеты, для наиболее часто встречающихся диаметров бревен второе слагаемое в (17) составляет не более 0,4 % от первого, и если им пренебречь, то можно считать, что

$$Dd_о = Dd_э. \quad (19)$$

Согласно закону нормального распределения любое значение УРЭ $d_о$ и вероятность его превышения могут быть определены по выражению

$$d_о = Md_о + \beta\sigma_{d_о},$$

где $\beta$ – статистический коэффициент, учитывающий вероятность превышения удельным расходом значения $Md_о$; $\sigma_{d_о}$ – среднее квадратическое отклонение УРЭ $d_о$.

Используя функцию Лапласа [4], находим значение УРЭ $d_о$, вероятность превышения которого составит 0,05. В этом случае значение статистического коэффициента $\beta$ следует принять равным 1,65 [10].

Таким образом, можно утверждать, что 95 % всех значений УРЭ за операционное время цикла при распиловке бревен данного диаметра не выйдет за уровень

$$d_о = Md_о + 1{,}65\sigma_{d_о}.$$

Это выражение может быть использовано при определении нормы УРЭ за операционное время цикла при распиловке бревен данного диаметра.

*Заключение*

В результате применения теории вероятностей определены плотности распределения абсолютного и удельного расходов электроэнергии за время цикла распиловки древесины на лесопильных рамах, а также их числовые характеристики; установлены зависимости показателей модели электропотребления от размеров распиливаемого сырья и параметров режима лесопильных рам.

Полученные результаты могут быть использованы при решении вопросов составления и анализа электрических балансов в задачах нормирования и планирования электропотребления процессов лесопиления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Агеев С.П.* Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Изв. СПбЛТА. 2007. Вып. 179. С. 142–152. [Ageev S.P. The Mathematic Modeling of Sawing Processes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehniceskoj akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2007, vol. 179, pp. 142–152].

2. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений). [Ageev S.P. Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2009, no. 1. pp. 95–100]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/00a/00a3265c1d65935c524a4da80178d48b.pdf

3. *Алексин М.В., Синев В.С., Пижурин П.А., Коперин И.Ф., Головков С.И., Павлосюк В.А.* Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-ть, 1982. 216 с. [Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkov S.I., Pavlosyuk V.A. *Energy Saving in the Timber and Woodworking Industry*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p.].

4. *Аркашов Н.С., Ковалевский А.П.* Теория вероятностей и случайные процессы. Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2014. 237 с. [Arkashov N.S., Kovalevskiy A.P. *Theory of Probability and Stochastic Processes*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 237 p.].

5. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 2000. 480 с. [Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Theory of Probability and Its Engineering Applications*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 480 p.].

6. *Воскобойников Д.М.* Экономическое стимулирование рационального использования электроэнергии в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1988. 80 с. [Voskoboynikov D.M. *Economic Incentives for Efficient Electric Energy Use in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 80 p.].

7. *Гордеев В.И.* Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 1986. 184 с. [Gordeyev V.I. *Peak Demand Regulation of Industrial Electrical Grids*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 184 p.].

8. *Гордеев В.И., Демура А.В.* Оперативная оценка погрешности регулирования максимума электропотребления // Энергетика. 1983. № 10. С. 47–50. (Изв. высш. учеб. заведений). [Gordeyev V.I., Demura A.V. Rapid Assessment of Regulation Error of Peak Electric Energy Consumption. *Energetika*, 1983, no. 10, pp. 47–50.].

9. *Гордеев В.И., Демура А.В*. Учет информации об электрических нагрузках при расчете потерь электроэнергии // Электричество. 1984. № 7. С. 61–63. [Gordeyev V.I., Demura A.V. Records of Electric Demand when Calculating Energy Losses. *Elektrichestvo*, 1984, no. 7, pp. 61–63].

10. *Гусак А.А.* Высшая математика в 2 т. М.: Тетра Системс, 2000. Т. 1. – 544 с., т. 2. – 448 с. [Gusak A.A. *Advanced Mathematics*. In 2 vol. Moscow, Tetra Sistems Publ., 2000. Vol. 1 – 544 p. Vol. 2 – 448 p.].

11. *Конюхова Е.А.* Электроснабжение объектов. М.: Мастерство, 2001. 320 с. [Konyukhova E.A. *Electricity Supply of Facilities*. Moscow, Masterstvo Publ., 2001. 320 p.].

12. *Михайлов В.В.* Тарифы и режимы электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216 с. [Mikhaylov V.V. *Tariffs and Electrical Energy Consumption Modes*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 216 p.].

13. *Михайлов В.В., Гудков Л.В., Терещенко А.В.* Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. М.: Энергия, 1978. 224 с. [Mikhaylov V.V., Gudkov L.V., Tereshchenko A.V. *Sustainable Use of Fuel and Energy in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1978. 224 p.].

14. *Рыкунин С.Н., Пятков В.Е.* Методы составления и расчета поставов. М.: МГУЛ, 2005. 69 с. [Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Methods of Compilation and Computation of Postings*. Moscow, MGUL Publ., 2005. 69 p.].

15. *Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А.* Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высш. шк., 2001. 336 с. [Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu., Yashkov V.A. *Electric Power Supply of Industrial Enterprises and Installations*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 336 p.].

16. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: в 5 кн. / под ред. В.А. Веникова. Кн. 5: Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях / Т.В. Анчарова, С.И. Гамазин, В.В. Шевченко. М.: Высш. шк., 1990. 143 с. [Ancharova T.V., Gamazin S.I., Shevchenko V.V. Energy Savings at Industrial Enterprises. Book 5. *Energy-Efficient Technology of Electric Power Supply of the National Economy*: In 5 Books. Ed. by V.A. Venikov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 143 p.].

17. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom. Modellvorhaben und Fachartikel*. Baden-Wurttemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 1999, S. 70–78.

18. Leber J.F., Matthews M.B. Neurale Netzerke: eine Uebersicht. *Bulletin SEV/VSE*, 1989, B. 80.

19. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536. DOI: 10.1038/323533a0

20. Tönsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten. *Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom. Modellvorhaben und Fachartikel*. Baden-Wurttemberg, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 1999, S. 79–92.

## MATHEMATICAL MODELING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF FRAME SAWING

***S.P. Ageev,*** *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: AAB-1356-2019, ORCID: 0000-0003-0362-6722*
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ul. 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Drafting and analysis of electrical balances of industrial facilities is among the crucial components of a set of works driven by problem solution related to fuel and energy savings. Electrical balance is an important characteristic of the state of electric economy of an enterprise and reflects the total quantitative correlation between total delivered electrical energy, on the one hand, and total useful electrical energy and its losses, on the other. Experimental research carried out at a number of woodworking enterprises showed that these companies have considerable reserves of energy savings. Their use depends to a great extent on a proper management and engineering and economic feasibility of electric energy consumption rating. Total consumption of electric energy for basic and auxiliary production and operating needs, including electric line power losses, is a subject of regulation. Individual operation and total rates of specific consumption are distinguished in rating electric energy consumption. This article provides an approach to the setting of an operating rate of specific electric energy consumption for wood sawing with log frames, taking into account the random nature of sizes of sawing raw materials, as well as electric line power losses. In order to carry out the research, a linear model of the consumed active power curve of the cutting mechanism engine was used, as well as the probability theory methods. As a result, the distribution densities of the absolute and specific electric energy consumption are determined taking into account electric line power losses, as well as their numerical characteristics; the dependences of the linear model parameters of electric energy consumption on the sizes of sawing raw materials and the operation parameters of log frames are found. The proposed results can be used in drafting and analysis of energy balances in the course of solving the problems of rating electric energy consumption at woodworking enterprises. In the analysis of electric energy consumption model, it was found that its parameters, as the random variables, have a distribution that is different from normal distribution. However, in an attempt to simplify the further analysis of electric energy consumption mode, density of probabilities was approximated by the normal law of distribution. Average error of approximation was not more than 0.02 %. Also, calculation formulas for electric energy consumption parameters depending on the size of sawing raw materials were obtained.

***For citation:*** Ageev S.P. Mathematical Modeling of Electric Energy Consumption of Frame Sawing. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 194–201. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.194

*Keywords*: log frame, effective and operation time of a working cycle, consumable active power, specific electric energy consumption, density of probability distribution, dimensions of sawing raw materials.

Поступила 20.06.19 / Received on June 20, 2019

УДК 674.093
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.202

# ВЛИЯНИЕ ЛОЖНОГО ЯДРА БЕРЕЗЫ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЫХОД ЛАМЕЛЕЙ ИЗ ЗАБОЛОННОЙ ЗОНЫ ДЛЯ КЛЕЕНОГО ЩИТА

***С.Н. Рыкунин, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: N-3182-2013, ORCID: 0000-0002-4471-4668*
***А.А. Каптелкин, асп.;*** *ResearcherID: AAC-8654-2019, ORCID: 0000-0002-8470-3496*
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская область, Россия, 141005; e-mail: rikunin@mgul.ac.ru, kaptelkin94@mail.ru

В ближайшие годы доля лиственных пород (березы и осины) в расчетной лесосеке европейской части и Урала Российской Федерации достигнет 80 %, т. е. увеличение использования древесины мягких лиственных пород должно стать одним из стратегических направлений переработки. Березовые пиломатериалы имеют ограниченный спрос в строительстве и мебельном производстве, в связи с этим доля круглых березовых сортиментов, предназначенных для производства пиломатериалов, составляет около 14 % при среднем диаметре сортиментов не более 18 см. В круглых березовых лесоматериалах, предназначенных для производства пиломатериалов, имеется зона ложного ядра и заболонная зона. Прослеживается устойчивая тенденция спроса на клееный щит, полученный из заболонной зоны, что может существенно улучшить технико-экономические показатели производства. Размер заболонной зоны уменьшается при переработке необрезных пиломатериалов в обрезные и зависит от величины использования сбеговой зоны. Увеличения объемного выхода ламелей из заболонной зоны можно достичь за счет использования пиломатериалов с обзолом, так как при этом возрастает ширина доски, а следовательно, и заболонной зоны. Компьютерное имитационное моделирование раскроя березовых центральных досок на ламели свободной ширины и ламели шириной 40 мм из заболонной зоны показало, что из бревен диаметром 14 см объемный выход ламелей свободной ширины в центральных досках заболонной зоны не увеличивается по сравнению с объемным выходом ламелей шириной 40 мм. Но с ростом диаметра бревна объемный выход ламелей свободной ширины из заболонной зоны в центральных досках увеличивается. Например, из бревен диаметром 16 см объемный выход возрастает на 0,53 %, из 18 см – на 1,25 %, из 20 см – на 1,71 % от объема бревна.

***Для цитирования:*** Рыкунин С.Н., Каптелкин А.А. Влияние ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клееного щита // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 202–212. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.202
***Финансирование:*** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологичных технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками».

*Ключевые слова:* ложное ядро, береза, клееный щит, ламель, заболонная зона.

## *Введение*

В ближайшие годы доля лиственных пород (березы и осины) в расчетной лесосеке будет достигать 80 %.

Березовые лесоматериалы находят применение при производстве фанеры. При этом используется лучшая комлевая часть хлыста. Объемный выход

сортиментов для производства фанеры составляет 18…20 % от объема березового хлыста. Для производства пиломатериалов возможно использовать часть хлыста в размере 14 %. Средний диаметр круглых лесоматериалов для производства пиломатериалов невысок: около 80 % из них имеют диаметр 14…20 см.

Анализ работ по исследованию ложного ядра и заболонной зоны здоровой древесины березы [10, 13–20] подтвердил, что древесина из зоны ложного ядра практически не отличается по физико-механическим характеристикам от заболонной зоны. Отличие – в цвете материала. Сочетание ламелей из древесины ложного ядра и ламелей из заболонной зоны на лицевой поверхности клееного щита резко сокращает спрос на этот материал, причина – неравномерность цвета.

Цель работы – изучение возможности увеличения объемного выхода ламелей из заболонной зоны.

Для достижения цели решались следующие задачи:

выбор оптимального варианта раскроя березовых пиломатериалов на ламели из заболонной зоны;

обоснование допустимой величины обзола в пиломатериалах для производства ламелей из заболонной зоны.

Одним из путей решения задачи эффективной переработки древесины березы может быть изменение схемы обрезки пиломатериалов в лесопильном цехе с оставлением в верхней части доски тупого обзола, параметры которого превышают требования действующих стандартов. Такие пиломатериалы возможно использовать при производстве мебельного щита (рис. 1).

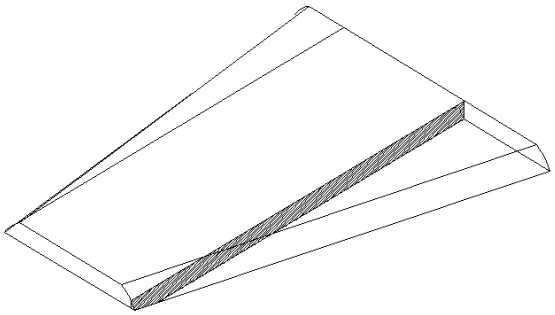


Рис. 1. Схема раскроя необрезных пиломатериалов на обрезные

Fig. 1. Cutting plan for unedged lumber

В настоящее время прослеживается устойчивая тенденция спроса на клееный щит, полученный из ламелей заболонной зоны. Это способно существенно повысить технико-экономические показатели производств, применяющих древесину березы при изготовлении клееных щитов.

*Объекты и методы исследования*

Объемный выход ламелей из заболонной зоны можно повысить за счет использования пиломатериалов с обзолом, так как при этом увеличивается ширина доски, а, следовательно, и заболонной зоны [5].

В ранее выполненной работе [4] выдвигалась гипотеза о значительном росте объемного выхода обрезных пиломатериалов из необрезных за счет увеличения использования сбеговой зоны путем уменьшения по толщине при обрезке пропиленной части кромки.

Для проверки этой гипотезы круглые лесоматериалы диаметром 14…20 см раскраивали вразвал и с брусовкой на обрезные пиломатериалы стандартных размеров, обрезные пиломатериалы свободных ширины и длины, обрезные

пиломатериалы стандартных размеров с обзолом, пропиленная кромка в которых составляла 5 мм, обрезные пиломатериалы с обзолом свободных длины и ширины. Толщина всех пиломатериалов – 25 мм. Размеры пиломатериалов определялись при влажности 5...7 %.

При раскрое березовых пиломатериалов для клееного щита получают ламели из заболонной зоны и с лицевой поверхностью в заболонной зоне.

Заболонная зона в березовых круглых лесоматериалах диаметром от 14 до 20 см варьирует в диапазоне 40…70 мм.

Методами компьютерного и имитационного моделирования выполнены исследования параметров ложного ядра при производстве заготовок. Раскрой круглых лесоматериалов на пиломатериалы и пиломатериалов на ламели был имитирован в компьютерной программе SolidWorks и в системе автоматизированного проектирования и черчения Компас-3D. Расчетные данные объемного выхода ламелей получены с использованием программы Excel [3].

Производство ламелей только заданной ширины приводит к уменьшению объемного выхода из-за некратности ширины ламелей ширине заболонной зоны.

Для определения объемного выхода ламелей требуется найти размер заболонной зоны в березовых круглых лесоматериалах как разность между диаметром круглых лесоматериалов и диаметром ложного ядра:

$$B = \frac{D_к - D_{л.я}}{2}, \quad (1)$$

где $B$ – ширина заболонной зоны, см; $D_к$ – диаметр бревна в комле, см; $D_{л.я.}$ – диаметр ложного ядра в комле, см.

Для решения этих задач необходимо рассчитать диаметр ложного ядра (рис. 2) в заданном диапазоне круглых лесоматериалов.

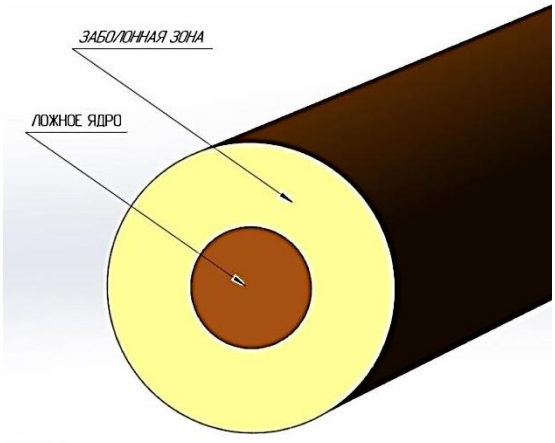



Рис. 2. Расположение ложного ядра по сечению бревна

Fig. 2. Position of the false heartwood in the log cross section

Прослеживается зависимость диаметра ложного ядра от диаметра бревна в комле [2, 6, 9], которая выражается следующим уравнением:

$$D_{л.я.} = 0{,}032 + 0{,}417D_к, \quad (2)$$

где $D_к$ – диаметр бревна в комле, см.

Принимаем сбег ложного ядра равным сбегу бревна $S$ = 1 см/м, тогда диаметр ложного ядра в верхнем отрезе ($d_{л.я.}$, см)

$$d_{л.я.} = D_{л.я.} - SL, \quad (3)$$

где $L$ – длина бревна, м.

Ширина ложного ядра на пласти центральной доски определяется с использованием следующих формул:

$$b_1 = \sqrt{d_{\text{л.я}}^2 - 4\left(\frac{t_{\text{пр}}}{2}\right)^2}; \quad (4)$$

$$B_1 = \sqrt{D_{\text{л.я}}^2 - 4\left(\frac{t_{\text{пр}}}{2}\right)^2}; \quad (5)$$

$$b_2 = \sqrt{d_{\text{л.я}}^2 - 4a_1^2}; \quad (6)$$

$$B_2 = \sqrt{D_{\text{л.я}}^2 - 4a_1^2}, \quad (7)$$

где $b_1$ и $b_2$ – ширина ложного ядра на внутренней и внешней пласти центральной доски в верхнем отрезе, мм; $B_1$ и $B_2$ – ширина ложного ядра на внутренней и внешней пласти центральной доски в комле, мм; $t_{\text{пр}}$ – ширина пропила, мм; $a_1$ – расстояние от продольной оси постава до внешней пласти доски, мм.

*Результаты исследования и их обсуждение*

В табл. 1 приведены размеры ложного ядра для березового бревна диаметром $d$ = 20 см, $L$ = 4 м.

Таблица 1

**Диаметры ложного ядра**

| Параметр | Значение параметра |
|---|---|
| Диаметр ложного ядра, см: | |
| в комле | 10,04 |
| в верхнем отрезе | 6,04 |
| Размер заболонной зоны древесины, см | 13,96 |

В табл. 2 представлены размеры ложного ядра для березового бревна диаметром $d$ = 20 см, $L$ = 4 м на пластях центральных обрезных досок по порядку их нумерации в поставе. Нумерация досок (1–7) в поставах показана на рис. 3. Толщина пиломатериалов 25 мм [7, 8].

Таблица 2

**Размеры ложного ядра в центральных досках**

| Параметр | Значение параметра для доски в поставах | | | |
|---|---|---|---|---|
| | вразвал | | с брусовкой | |
| | 1 | 2 | 5 | 6 |
| Длина ложного ядра, м: | | | | |
| во внутренней пласти | 4,0 | 3,6 | 4,0 | 3,6 |
| во внешней пласти | 4,0 | 0 | 4,0 | – |
| Ширина ложного ядра, мм: | | | | |
| во внутренней пласти в верхнем отрезе | 60,29 | 0 | 60,29 | – |
| во внешней пласти в верхнем отрезе | 19,40 | – | 19,40 | – |
| во внутренней пласти в комле | 100,34 | 77,02 | 100,34 | 77,02 |
| во внешней пласти в комле | 82,51 | – | 82,51 | – |

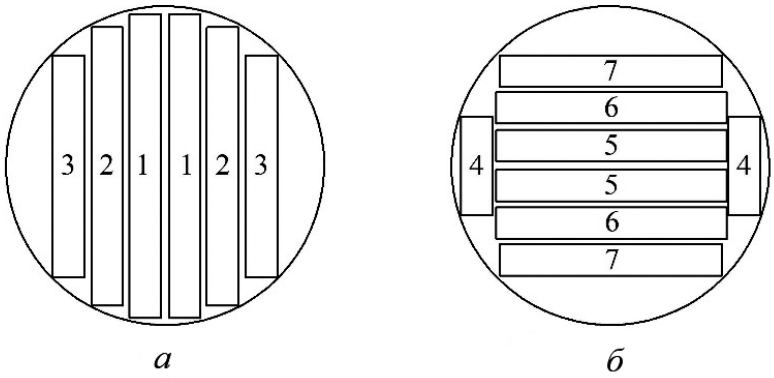



Рис. 3. Схема раскроя бревна: *а* – вразвал, *б* – с брусовкой

Fig. 3. Cutting plan of a log: *а* – through and through, *б* – with slabbing

Следует учитывать, что объемный выход ламелей из пиломатериалов, получаемых при распиловке вразвал, больше, чем при распиловке с брусовкой, на 0,34...5,50 %.

Дальнейшую имитацию раскроя бревна выполняли только для пиломатериалов, получаемых при распиловке вразвал.

Как видно из табл. 2, длина ложного ядра на внешней пласти в доске 2 равна 0. Это следствие того, что ложное ядро не доходит до внешней пласти данной доски. Кроме того, в доске 2 ложное ядро во внутренней пласти не доходит и до верхнего отреза. В досках 3, 4, 7 ложное ядро полностью отсутствует.

Известно, что размер заболонной зоны уменьшается при переработке необрезных пиломатериалов в обрезные и зависит от величины использования сбеговой зоны [1, 11, 12].

На рис. 4 представлена первая пара досок, полученная при распиловке вразвал, в которых ложное ядро выходит на обе пласти доски.

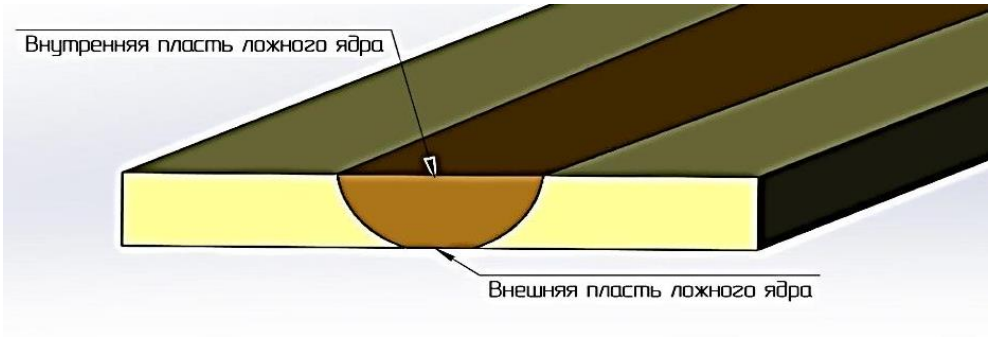



Рис. 4. Расположение ложного ядра в первой паре досок

Fig. 4. Position of the false heartwood in the first pair of boards

Расположение ложного ядра во второй паре досок имеет 2 варианта (рис. 5 ).

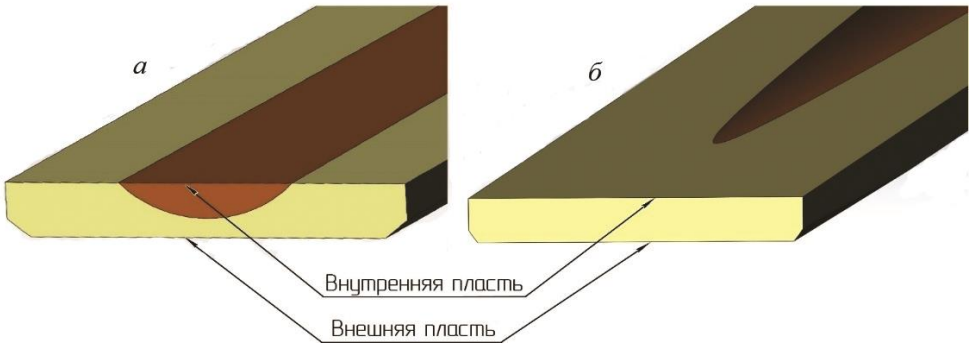



Рис. 5. Расположения ложного ядра во второй паре досок при распиловке вразвал: *а* – ложное ядро доходит до верхнего торца пиломатериала; *б* – ложное ядро не доходит до верхнего торца пиломатериала

Fig. 5. Position of the false heartwood in the second pair of boards when sawing through and through, where: *а* – false heartwood reaches the upper sawn end, *б* – false heartwood does not reach the upper sawn end

Для центральных досок методом компьютерного имитационного моделирования определен объемный выход ламелей по двум вариантам (рис. 6).

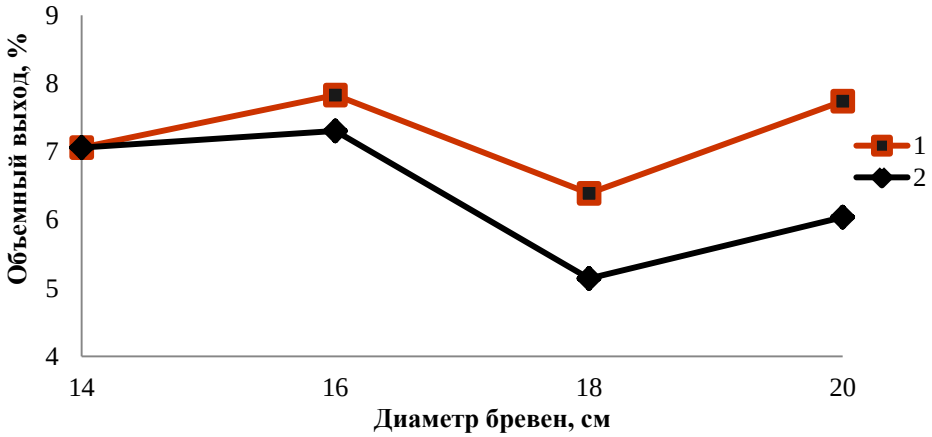



Рис. 6. Объемный выход ламелей свободной ширины (1) и шириной 40 мм (2) из заболонной зоны в центральных досках относительно объема бревна без удаления недопускаемых пороков

Fig. 6. The volume yield of the lamellae of free width (1) and 40 mm width (2) from the sapwood zone in the central boards in relation to the board volume without removing the unallowable defects

Из бревен $d$ = 14 см объемный выход ламелей свободной ширины в центральных досках заболонной зоны не увеличивается по сравнению с объемным выходом ламелей шириной 40 мм.

С ростом диаметра бревна объемный выход ламелей свободной ширины из заболонной зоны увеличивается: из бревен $d$ = 16 см – на 0,53 %, из бревен $d$ = 18 см – 1,25 %, из бревен $d$ = 20 см – 1,71 %. Раскрой пиломатериалов производился на ламели свободной ширины.

Из схемы, приведенной на рис. 7, видно, что обрезные доски раскраиваются поперечно-продольным способом. Следует учитывать, что при формировании щита с ламелями свободной ширины отсутствует возможность дальнейшего их склеивания по длине [4, 5]. Все ламели раскраивали на длину 1 м.

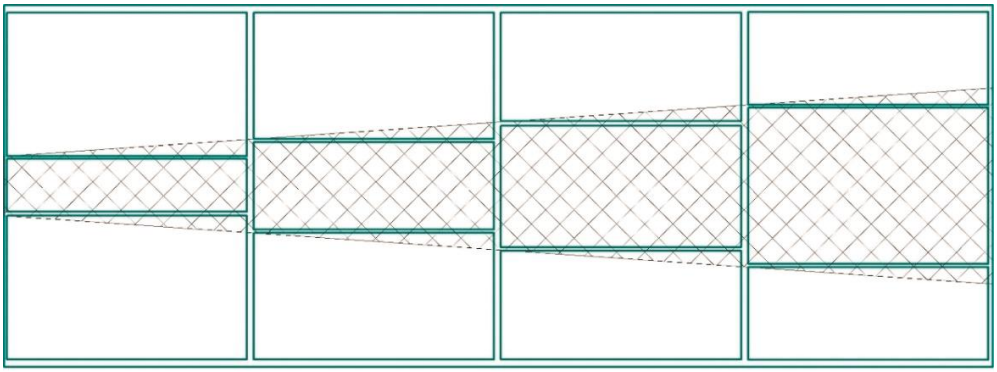



Рис.7. Схема раскроя на ламели свободной ширины

Fig.7. Cutting plan on the lamella of free width

В табл. 3 проанализирован объемный выход ламелей заданной и свободной ширины из заболонной зоны и зоны ложного ядра.

Таблица 3

**Объемный выход ламелей заданной и свободной ширины в центральных досках (*L* = 4 м, вразвал) при разном диаметре бревна *d* без удаления недопускаемых пороков**

| Параметр | Значение параметра |
|---|---|
| *Центральные доски d = 20 см* | |
| Ширина получаемых ламелей, мм | 40; 50; 55; 97 лож.; 77 лож.; 67 лож. |
| Объем ламелей, м$^3$: | |
| с ложным ядром | 0,016870 |
| из заболонной зоны | 0,018500 |
| Объемный выход ламелей в центральных досках от объема бревна, % | 14,86 |
| *Центральные доски d = 18 см* | |
| Ширины получаемых ламелей, мм | 40; 45; 50; 68 лож.; 78 лож.; 58 лож. |
| Объем ламелей, м$^3$: | |
| с ложным ядром | 0,018134 |
| из заболонной зоны | 0,013500 |
| Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, % | 16,16 |
| *Центральные доски d = 16 см* | |
| Ширины получаемых ламелей, мм | 40; 45; 50 лож.; 49 лож.; 59 лож. |
| Объем ламелей, м$^3$: | |
| с ложным ядром | 0,015394 |
| из заболонной зоны | 0,012500 |
| Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, % | 17,80 |
| *Центральные доски d = 14 см* | |
| Ширины получаемых ламелей, мм | 40; 70 лож.; 55 лож.; 41 лож. |
| Объем ламелей, м$^3$: | |
| с ложным ядром | 0,020786 |
| из заболонной зоны | 0,004000 |
| Объем ламелей в центральных досках от объема бревна, % | 21,26 |

В табл. 4 проанализирован объемный выход ламелей в центральных досках из зоны ложного ядра и заболонной зоны в процентах от объема бревна без удаления недопускаемых пороков.

Таблица 4

**Объемный выход ламелей в центральных досках (*L* = 4 м, вразвал) при разном диаметре бревна из зоны ложного ядра и заболонной зоны без удаления недопускаемых пороков**

| Диаметр бревна центральной доски, см | Объемный выход ламелей, % | | |
|---|---|---|---|
| | из древесины ложного ядра | из древесины с частичным содержанием ложного ядра | из заболонной зоны |
| 20 | 7,12 | 0,00 | 7,74 |
| 18 | 7,62 | 2,15 | 6,39 |
| 16 | 6,88 | 3,09 | 7,83 |
| 14 | 3,99 | 10,21 | 7,06 |

Объемный выход ламелей свободной ширины из заболонной зоны в бревнах *d* = 14 см практически не изменился по сравнению с бревнами *d* = 16 см и составляет 16,81 %. Далее, с ростом диаметра бревен, объемный выход увеличивается до 25,55 % (рис. 8, *а*).

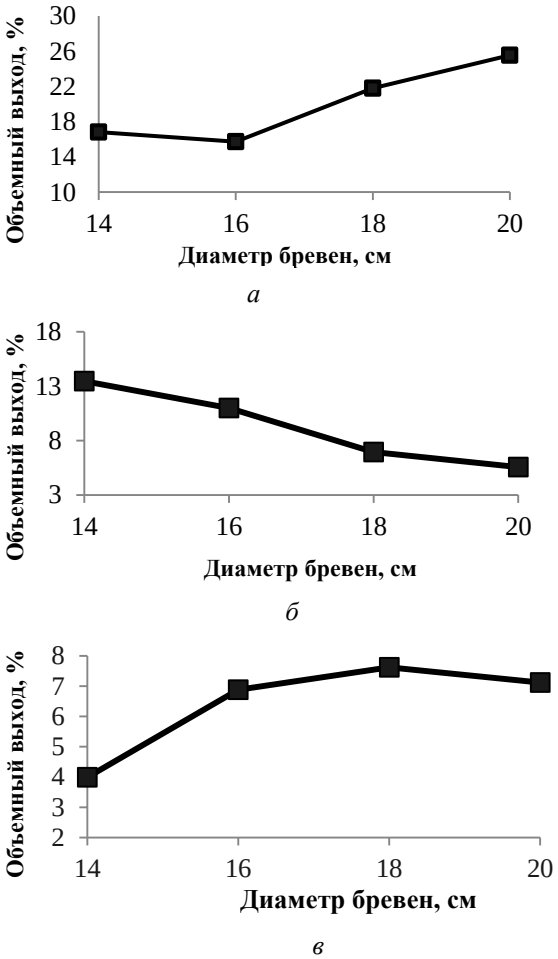



Рис. 8. Объемный выход ламелей свободной ширины без удаления недопускаемых пороков: *а* – из заболонной зоны; *б* – с лицевой поверхностью в заболонной зоне; *в* – из древесины ложного ядра

Fig. 8. Volume yield of free width lamellae without removal of unallowable defects: *а* – from the sapwood zone; *б* – with the front surface in the sapwood zone; *в* – from wood of the false heartwood

Объемный выход ламелей с лицевой поверхностью в заболонной зоне уменьшается с увеличением диаметра бревна в диапазоне от 13,46 до 5,57 % от объема бревна без учета недопускаемых пороков (рис. 8, *б*).

Объемный выход ламелей из древесины ложного ядра бревна диаметром 14 см является наименьшим и составляет 3,99 % от объема бревна.

Далее, при уменьшении диаметра бревна, объемный выход ламелей из древесины ложного ядра без удаления недопускаемых пороков изменится в диапазоне от 6,88 до 7,62 % от объема бревна (рис. 8, *в*).

*Выводы*

Установлено, что с увеличением диаметра бревна:

объемный выход ламелей из центральных досок свободной ширины без удаления недопускаемых пороков из заболонной зоны по сравнению с объемным выходом ламелей фиксированной ширины 40 мм возрастает на 0,53; 1,25 и 1,71 % соответственно из бревен диаметром 16; 18 и 20 см;

общий объемный выход ламелей свободной ширины без удаления недопускаемых пороков из заболонной зоны в диапазоне диаметров 14...20 см возрастает от 16,81 до 25,55 %;

общий объемный выход ламелей с лицевой поверхностью в заболонной зоне свободной ширины без удаления недопускаемых пороков в диапазоне диаметров 14...20 см уменьшается от 13,46 до 5,57 %;

общий объемный выход ламелей из древесины ложного ядра свободной ширины без удаления недопускаемых пороков увеличивается от 3,99 до 7,62 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аксенов П.П.* Теоретические основы раскроя пиловочного сырья. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 216 с. [Aksenov P.P. *Theoretical Basis for Raw Material Sawing*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1960. 216 p.].

2. *Алексеева Л.Г.* Природа и хозяйственное значение ложного ядра березы // Сб. науч. тр. МЛТИ. М.: МЛТИ, 1957. № 1. С. 65–71. [Alekseyeva L.G. The Nature and Economic Importance of Birch False Heartwood. *Collection of Academic Papers of the Moscow Forestry Engineering Institute*. Moscow, MLTI Publ., 1957, no. 1, pp. 65–71].

3. *Каптелкин А.А., Владимирова Е.Г.* Оценка качества пиломатериалов с помощью имитационного моделирования в программе SolidWorks // Деревообраб. пром-сть. 2019. № 1. С. 3–7. [Kaptelkin A.A., Vladimirova E.G. Evaluation of the Quality of Sawn Timber by Means of Simulation in the SolidWorks Program. *Derevoobrabativaushaya promishlennost'* [Woodworking industry], 2019, no. 1, pp. 3–7].

4. *Каптелкин А.А., Куликова Н.В., Рыкунин С.Н.* Технология производства березовых пиломатериалов с обзолом для одностороннего мебельного щита // Деревообраб. пром-сть. 2017. № 4. С. 21–27. [Kaptelkin A.A., Kulikova N.V., Rykunin S.N. Production Technology of Birch Lumber with a Wane for a Single-Edge Furniture Board. *Derevoobrabativaushaya promishlennost'* [Woodworking industry], 2017, no. 4, pp. 21–27].

5. *Каптелкин А.А., Рыкунин С.Н.* Технология производства ламелей для клееного щита из березовых пиломатериалов с обзолом // Деревообраб. пром-сть. 2018. № 3. С. 8–11. [Kaptelkin A.A., Rykunin S.N. Production Technology of Lamellae for Board Panels made of Birch Lumber with a Wane. *Derevoobrabativaushaya promishlennost'* [Woodworking industry], 2018, no. 3, pp. 8–11].

6. *Кравцов Е.В.* Исследование размерно-качественных характеристик березовых пиломатериалов // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 8(91). С. 90–94. [Kravtsov E.V. Study of Size-Quality Features Birch Timber. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 8(91), pp. 90–94].

7. *Кондратюк Д.В., Кравцов Е.В.* Технологические решения переработки лиственных короткомерных сортиментов // Вестн. МГУЛ. – Лесн. вестн. 2012. № 8(91). С. 38–41. [Kondratyuk D.V., Kravtsov E.V. Technology Solutions Hardwood Treatment Short Assortment. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 8(91), pp. 38–41].

8. *Куликова Н.В., Рыкунин С.Н., Кривощёков Н.В.* Методика расчета поставов с заданной величиной обзола // Лесотехн. журн. 2016. № 3. С. 91–99. [Kulikova N.V., Rykunin S.N., Krivoschokov N.V. The Calculation Method of Supply with the Given Wane Value. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2016, no. 3(23), pp. 91–99].

9. *Рыкунин С.Н.* Исследование влияния качественных особенностей березового пиловочного сырья на выход заготовок и технология их выработки: автореф. ... дис. канд. техн. наук. М., 1968. 31 с. [Rykunin S.N. *Study of the Influence of Qualitative Features of Birch Sawing Raw Materials on the Output of Blanks and Their Production Technology*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1968. 31 p.].

10. *Тепнадзе М., Миротадзе Л., Литкин Д.* Некоторые результаты исследования пороков древесины бука // Техніка та енергетика. 2013. № 185. С. 282–289. Режим доступа: http://journals.nubip.edu.ua/_index.php/Tekhnica/article/view/2667 (дата обращения 02.10.18.) [Tepnadze M., Mirotadze L., Litkin D. Some Research Results of Flaws in Beech Wood. *Tekhnika ta energetika* [Machinery and Energetics], 2013, no. 185, pp. 282–289].

11. *Уласовец В.Г.* Раскрой боковой зоны бревен на доски одинаковой толщины // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 77–82. (Изв. высш. учеб. заведений). [Ulasovets V.G. Sawing of Side Log Zone into Boards of Similar Thickness. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2008, no. 5, pp. 77–82]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/397/397bea88c8553eabfc70b73cf34576f4.pdf

12. *Фергин В.Р.* Развитие теории раскроя пиловочного сырья // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 107–117. (Изв. высш. учеб. заведений). [Fergin V.R. Development of the Sawing Process Theory. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 4, pp. 107–117]. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.107; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f0d/107_117.pdf

13. Bankole O.S., Rohumaa A., Kers J. Microstructure Study if Birch False Heartwood. *Proceedings of the 12th Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering (WSE). Wood Science and Engineering – A Key Factor on the Transition to Bioeconomy*. Riga, Latvian State Institute of Wood Chemistry, 2016, pp. 117–124.

14. Dömény J., Koiš V., Dejmal A. Microwave Radiation Effect on Axial Fluid Permeability in False Heartwood of Beech (*Fagus sylvatica* L.). *BioResources*, 2014, vol. 9, iss. 1, pp. 372–380. DOI: 10.15376/biores.9.1.372-380

15. Hörnfeldt R., Drouin M., Woxblom L. False Heartwood in Beech *Fagus sylvatica*, Birch *Betula pendula*, *B. papyrifera* and Ash *Fraxinus excelsior* – An Overview. *Ecological Bulletins*, 2010, no. 53, pp. 61–76.

16. Kallakas H., Ayansola G.S., Tumanov T., Goljandin D., Poltimäe T., Krumme A., Kers J. Influence of Birch False Heartwood on the Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. *BioResources*, 2019, vol. 14(2), pp. 3554–3566. DOI: 10.15376/biores.14.2.3554-3566

17. Luostarinen K. The Effect of Annual Ring Orientation and Drying Method on Deformations, Casehardening and Colour of Silver Birch (*Betula pendula*) Boards. *Silva Fennica*, 2007, vol. 41, no. 4, art. 278, pp. 717–730. DOI: 10.14214/sf.278

18. Martin M. Effect of Birch Heartwood on the Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. *BioResources*, 2017, vol. 9, iss. 1, pp. 75–85.

19. Prka M., Zečić Ž., Krpan A., Vusić D. Characteristics and Share of European Beech False Heartwood in Felling Sites of Central Croatia. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2009, vol. 30, pp. 37–49.

20. Shmulsky R., Jones P.D. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. Chichester, Wiley-Blackwell, 2019. 504 p.

## THE INFLUENCE OF BIRCH FALSE HEARTWOOD ON THE VOLUME YIELD OF LAMELLAE FROM THE SAPWOOD ZONE FOR BOARD PANEL PRODUCTION

***S.N. Rykunin,*** *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: N-3182-2013, ORCID: 0000-0002-4471-4668*
***A.A. Kaptelkin,*** *Postgraduate Student; ResearcherID: AAC-8654-2019, ORCID: 0000-0002-8470-3496*
Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi Branch), ul. 1-ya Institutskaya, 1, Mytishchi, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: rikunin@mgul.ac.ru, kaptelkin94@mail.ru

In years ahead, the share of deciduous species (birch and aspen) in the annual allowable cut of the European part of the Russian Federation and the Ural will reach 80 %, thus, an increase in the use of hardwood is meant to be one of the strategic processing areas. Birch lumber has limited demand in construction and furniture production; in this regard, the proportion of round birch assortments intended for the lumber production is about 14 % with an average diameter of assortments no greater than 18 cm. There are zones of false heartwood and sapwood in round birch timber, intended for the lumber production. There is a steady trend in demand for the board panels obtained from the sapwood zone, which might bring a vast improvement to the technical and economic performance of production. The size of the sapwood zone reduces in processing of unedged into edged lumber and depends on the utilization of the taper zone. The increase in the volume yield of lamellae from the sapwood zone can be obtained by using lumber with wane since the width of the board increases and hence the sapwood zone. Computer simulation of birch central boards cutting on free width lamellae and 40 mm width lamellae made of the sapwood zone has shown that the volume yield from logs with a diameter of 14 cm of free width lamellae in the central boards of the sapwood zone does not increase in comparison with the volume yield of 40 mm width lamellae. However with an increase in the log diameter, the volume yield of free width lamellae made of sapwood zone in the central boards increases. For example, the volume yield from logs with a diameter of 16 cm increases by 0.53 %, from 18 cm – by 1.25 %, from 20 cm – by 1.71 % of the log volume.
***For citation:*** Rykunin S.N., Kaptelkin A.A. The Influence of Birch False Heartwood on the Volume Yield of Lamellae from the Sapwood Zone for Board Panel Production. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 202–212. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.202
***Funding:*** The research has been financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. 37.8809.2017/БЧ “Study of the Structure, Properties and Characteristics of Wood as a Natural Functional Material for the Development of the Energy-Efficient and Environmentally Friendly Products with Specified Mechanical, Electrical, Chemical and Thermal Characteristics”.

*Keywords:* false heartwood, birch, board panel, lamella, sapwood zone.

Поступила 06.02.19 / Received on February 06, 2019

УДК 674.08
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.213

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МАССИВЕ КУЧИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

***А.Н. Деснев*[1,2], *ст. преподаватель;*** *ORCID: 0000-0002-7941-645X*
***Г.Ф. Прокофьев*[1], *д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: G-9482-2019; ORCID: 0000-0003-4494-4989*
***В.Ю. Тюриков*[1], *магистрант;*** *ORCID: 0000-0002-6358-5822*
[1]Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: nvd1975@yandex.ru
[2]ООО «АРХПОЖСЕРВИС», просп. Чумбарова-Лучинского, д. 30, этаж 2, помещение 2, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: a.n.desnev@yandex.ru

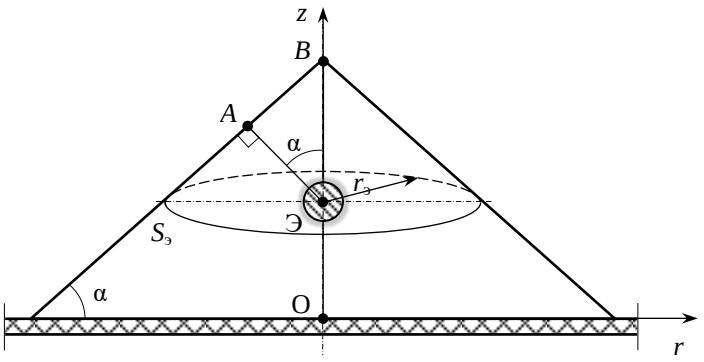
Хранение измельченных древесных материалов на лесоперерабатывающих предприятиях осуществляется открытым способом в сформированных кучах различных размеров и форм. Недостатком при хранении измельченной древесной массы таким способом является неконтролируемый процесс самонагревания щепы до критических температур под воздействием термофильных микроорганизмов. При отсутствии должного контроля за этим процессом теряется полезная масса древесины, в значительной степени ухудшается ее качество и появляется риск возгорания. Для предотвращения негативных последствий необходимо отводить избыточную тепловую энергию из массива измельченного древесного материала в окружающую среду. Отвод тепла позволит установить контроль над тепловыми процессами и организовать управление температурными полями внутри кучи. Для осуществления технологических мероприятий могут быть использованы тепловые трубы. Такой способ эффективен, не требует привлечения коммерческого энергопотребления и экологически безопасен. Для обоснования решения проведены теоретические исследования процессов, протекающих в массиве кучи измельченной древесины. Цель работы – установление математических закономерностей, описывающих влияние наиболее существенных факторов на процессы самонагревания измельченной древесины, хранящейся в сформированных конусных кучах на открытых складах. При проведении исследований использовали методы математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики с применением вычислительных программных комплексов. В результате получена система уравнений, моделирующих процессы самонагревания измельченной древесины и позволяющих прогнозировать формирование температурного поля внутри кучи к заданному временному интервалу, что позволит разработать методы безопасного хранения технологической щепы.
***Для цитирования***: Деснев А.Н., Прокофьев Г.Ф., Тюриков В.Ю. Моделирование температурного поля в массиве кучи измельченной древесины // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 213–223. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.213

*Ключевые слова:* хранение измельченной древесины, щепа, тепловая труба, теплопроводность дисперсных материалов, теплоемкость дисперсных материалов, самонагревание древесины.

## *Введение*

Разработка и практическая реализация эффективных мер по сохранности кондиционных характеристик технологической щепы в процессе хранения открытым способом, обеспечение технологической и экологической безопасности при таком хранении требуют комплексного учета всех факторов, влияющих на процессы, происходящие в куче щепы.

Принимаем, что куча щепы имеет правильную симметричную коническую форму, ось симметрии которой перпендикулярна основанию кучи. На рисунке представлена цилиндрическая система координат созданной модели.




Цилиндрическая система координат модели кучи щепы: Э – эпицентр ядра кучи; $r_э$ – радиус кучи на участке эпицентра; $S_э$ – площадь поверхности на участке эпицентра ядра; α – угол естественного откоса; *z* – ось симметрии; *A* – ближайшая точка на поверхности кучи от эпицентра ядра; *B* – точка на вершине кучи щепы

The cylindrical coordinate system of the model of a heap of chips: Э – epicenter of the heap core; $r_э$ – heap radius at the epicenter site; $S_э$ – surface area at the core epicenter site; α – angle of natural repose; *z* – axis of symmetry; A – the nearest point on the heap surface from the core epicenter; B – a point on the top of the heap of chips

Будем считать, что основание кучи имеет идеально ровную поверхность, его температура одинакова во всех точках. Оценим отклонения от сделанных предположений в реальных условиях, оказывающих влияние на результаты моделирования. Массив кучи щепы рассматривается как многофазная, многокомпонентная дисперсная смесь. Ее твердыми компонентами являются фракция щепы, а также примеси и загрязнения, наличием которых при первичном анализе можно пренебречь. К газовым компонентам относятся элементы воздуха, содержащиеся в массиве щепы между частицами фракции. Воздух и частицы щепы – наиболее важные компоненты смеси, поскольку их объемная и массовая доли высоки. Влага, помимо пара, присутствует в составе воздуха в виде свободной воды, во фракции щепы – в связанном состоянии или в виде жидкой фазы на поверхности частиц щепы.

Химический состав воздуха, количество влаги во всех трех состояниях (в составе древесины, в жидкой и газообразной фазах) оказывают ключевое влияние на скорость протекания микробиологических процессов, формирование тепла в эпицентре нагрева и на процесс отвода тепла из эпицентра кучи через многокомпонентную дисперсную массу в окружающую среду.

Насыпная плотность многокомпонентной древесной смеси неоднородна по объему кучи, поэтому является функцией координат. Она, наряду с теплоемкостью и теплопроводностью, определяет значение коэффициента температуропроводности всего массива – основного параметра, характеризующего интенсивность теплообмена в куче.

### *Объекты и методы исследования*

В качестве исследуемого объекта принята модель кучи измельченной древесины в виде конуса.

Процесс распространения тепловой волны от эпицентра нагрева (эпицентра температуры) можно графически охарактеризовать расположением изотерм в массиве кучи щепы [22]. Он протекает по-разному на различных временных стадиях. В начальный период времени основная масса щепы еще

не испытывает нагрев, и теплообмен с внешним воздухом через поверхность кучи практически отсутствует. В предположении о пространственной однородности плотности смеси получим процесс распространения тепла в массиве, полностью эквивалентный процессу распространения тепла от компактного (точечного) источника в бесконечной среде. Такой процесс характеризуется концентрическими сферическими изотермами с центром в эпицентре нагрева. По мере повышения температуры по всему объему кучи и возникновения теплообмена через ее поверхность изотермы будут деформироваться [13, 14].

Для формальной записи соотношений между переменными модели применим уравнение теплопроводности, которое может быть записано в общем виде с использованием законов Фика и Фурье для тепловых процессов [5]:

$$c\rho\partial_t u = \operatorname{div}\vec{f}, \quad (1)$$

где $c$ – теплоемкость; $\rho$ – плотность среды (материала) в данной точке; $u$ – температура, рассматриваемая как функция координат и времени; $\vec{f}$ – вектор потока тепловой энергии в малой локальной окрестности текущей точки пространства в данный момент времени.

Операция взятия дивергенции вектора:

$$\operatorname{div}\vec{f} = \langle \operatorname{grad}, \vec{f} \rangle. \quad (2)$$

Для точки, расположенной внутри массива кучи, и для точки, расположенной на поверхности кучи (границе раздела с внешним воздухом), модели (и соответствующие формальные математические выражения для вектора потока тепловой энергии) будут различными. Так, для точки, расположенной в массиве кучи щепы, имеем:

$$\vec{f} = \kappa \operatorname{grad} u, \quad (3)$$

где $\kappa$ – коэффициент теплопроводности среды (материала).

Тогда запишем уравнение теплопроводности:

$$c\rho\partial_t u = k\Delta u, \quad (4)$$

или

$$\partial_t u = k\Delta u, \quad (5)$$

где $k$ – коэффициент температуропроводности системы, $k = \frac{\kappa}{c\rho}$ $\Delta$ – оператор Лапласа в соответствующей системе пространственных координат, $\Delta = \operatorname{div}\operatorname{grad} = \langle \operatorname{grad}, \operatorname{grad} \rangle$.

Как отмечено выше, коэффициент температуропроводности материала (смеси), составляющего кучу щепы, в общем случае зависит от пространственных координат и является различным для разных участков массива кучи, что вызвано, прежде всего, различными уплотнением материала кучи в разных местах и его влажностью [8, 10]. В связи с этим условием уравнение теплопроводности системы несколько усложняется:

$$\partial_t u = \operatorname{div}(k \operatorname{grad} u) = k\Delta u + \langle \operatorname{grad} k, \operatorname{grad} u \rangle. \quad (6)$$

В случае прямоугольной декартовой системы координат

$$\Delta = \sum_i \partial_i^2 . \quad (7)$$

Для введенной выше системы координат осесимметричной цилиндрической кучи щепы, в которой ось $z$ совпадает с осью симметрии кучи, запишем оператор Лапласа в уравнении теплопроводности:

$$\Delta = \partial_r^2 + \frac{1}{r}\partial_r + \frac{1}{r^2}\partial_\varphi^2 + \partial_z^2. \quad (8)$$

Таким образом, уравнение теплопроводности для теплового обмена и теплового баланса в куче щепы открытого хранения является существенно трехмерным, температура частиц щепы, формирующих поверхность кучи, – функцией трех пространственных координат:

$$u = u(r, z, \varphi). \quad (9)$$

Поскольку координата циклическая, запишем граничное условие по ней для любых $r$ и $z$:

$$u(r, z, 0) = u(r, z, 2\pi). \quad (10)$$

На поверхности кучи тепловой поток пропорционален разности температур кучи и внешнего воздуха с коэффициентом пропорциональности [15], равным коэффициенту теплоотдачи от поверхности кучи к внешнему воздуху. Вектор теплового потока направлен по нормали к поверхности таким образом, что граничное условие для уравнения теплопроводности на поверхности кучи есть условие 3-го рода:

$$\left| \vec{f} \right| = \alpha(u - u_{\text{вн}}); \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \vec{n}} = \alpha(u - u_{\text{вн}}), \quad (12)$$

где $\alpha$ – коэффициент теплоотдачи; $\frac{\partial u}{\partial \vec{n}}$ – оператор взятия нормальной производной, понимается в усредненном смысле, а именно к поверхности кучи щепы; $u_{\text{вн}}$ – температура массы внешнего воздуха.

Ввиду дисперсного характера материала кучи производная по нормали к поверхности должна рассматриваться в качестве границы кучи и представлять достаточно гладкую (кусочно-гладкую) поверхность минимального объема, ограниченную геометрическими размерами [16, 17]. Для части границы кучи, которая обращена к поверхности основания кучи, в качестве внешней температуры следует брать температуру поверхности и соответствующий коэффициент теплоотдачи $\alpha_0$:

$$\frac{\partial u}{\partial \vec{n}} = \alpha_0(u - u_0). \quad (13)$$

Значение коэффициента теплоотдачи от поверхности кучи щепы к внешнему воздуху может быть оценено с использованием положений гидродинамической теории размерности и подобия [18, 19].

В принятых условиях, при которых щепа хранится в виде кучи на открытом складе, возможны два режима теплообмена между поверхностью кучи щепы и внешним воздухом: 1 – режим свободной конвекции; 2 – режим слабой вынужденной конвекции [4, 9].

Второй режим возможно реализовать при условии принудительного движения внешних воздушных масс вокруг кучи щепы, вызванного ветром.

Для первого режима зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея, справедливая для конвективного ламинарного режима охлаждения, где ($\text{Ra} < 6 \cdot 10^{10}$) – поправочный коэффициент зависимости от температур охладителя и охлаждающей поверхности, равный отношению чисел Прандтля Pr для охладителя при его собственной температуре $T_c$ и температуре охлаждаемой поверхности $T_w$:

$$\text{Nu} = 0{,}6\text{Ra}^{1/4}\varepsilon_T; \quad (14)$$

$$\varepsilon_T = \left( \frac{\text{Pr}(T_c)}{\text{Pr}(T_w)} \right). \quad (15)$$

Указанное соотношение верно для вертикально расположенной поверхности охлаждения. Для наклонных и горизонтально расположенных поверхностей вводится поправочный коэффициент, который в зависимости от угла наклона касательной плоскости к поверхности охлаждения в рассматриваемой точке изменяется от 0,7 (для горизонтальной поверхности охлаждения, обращенной своей охлаждаемой стороной вниз) до 1,3 (для поверхности охлаждения, наклонно обращенной охлаждаемой стороной вверх) [1–2, 5]. Для вертикальной охлаждаемой поверхности указанный поправочный коэффициент равен 1.

Это соотношение может быть использовано и для вынужденного режима охлаждения в случае ламинарного обтекания поверхности кучи щепы потоками внешнего воздуха. Критерием ламинарности движений внешнего воздуха является соотношение $Ra < 6 \cdot 10^{10}$, где число Рэлея есть произведение чисел Прандтля и Грасгофа:

$$Ra = Gr \cdot Pr; \tag{16}$$

$$Pr = \frac{\nu}{k_c} = \frac{\mu c}{\kappa_c}; \tag{17}$$

$$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \Delta T_c, \tag{18}$$

где $\nu$ – кинематическая вязкость охладителя; $k_c$ – коэффициент температуропроводности охлаждающего агента; $\mu$ – динамическая вязкость охладителя, $\mu = \rho_c \nu$; $g$ – ускорение свободного падения, $\kappa_c$ – коэффициент теплопроводности охлаждающего агента; $l$ – характерный линейный размер зоны охлаждения; $\Delta T_c$ – характерная разность температур (например, между температурами охладителя и охлаждаемой поверхности) при вынужденной конвекции в турбулентном режиме течения охлаждающего агента (внешнего воздуха).

Поправочный коэффициент $\varepsilon_T$ был определен ранее через числа Прандтля для охладителя при его собственной температуре и температуре охлаждаемой поверхности. Число Прандтля в формуле необходимо вычислять при температуре охлаждающей жидкости. В некоторых исследованиях отмечается, что вместо 1/3 для показателя степени числа Прандтля в вышеприведенной формуле следует использовать значения в диапазоне 0,40…0,45.

Определим числа Нусельда и Рейнольдса:

$$Nu = 0{,}0296 Re^{4/5} Pr^{1/3} \varepsilon_T; \tag{19}$$

$$Re = \frac{v l}{\nu} = \frac{\rho_c v l}{\mu}, \tag{20}$$

где $v$ – характерная скорость движения охладителя вблизи поверхности; $\rho_c$ – плотность охлаждающего агента.

Отметим, что для вычисления чисел Рейнольдса и Грасгофа необходимо оценить характерный линейный размер, который в случае охлаждения кучи щепы потоками внешнего воздуха может быть найден как расстояние от поверхности земли до высоты максимального нарастания скорости воздушного потока [11, 12].

Число Нуссельта в данном случае определяется как

$$Nu = \frac{\alpha l}{\kappa_c}, \tag{21}$$

где $\kappa_c$ – теплопроводность охлаждающего агента (внешнего воздуха), обтекающего охлаждаемую поверхность кучи щепы.

С учетом того, что $k_c$ – температуропроводность охлаждающего агента, $k_c = \frac{\kappa_c}{c_c \rho_c}$ (где $c_c$ – теплоемкость охлаждающего агента, $\rho_c$ – его плотность), число Нуссельта может быть записано как

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha l}{\kappa_c c_c \rho_c}. \quad (22)$$

На основании приведенных выше соотношений используем следующее представление теплового потока от поверхности кучи к внешнему воздуху:

$$q = \frac{\mathrm{Nu}\kappa_c}{l}(u - u_{\text{вн}}). \quad (23)$$

Ввиду многокомпонентного дисперсного характера массива щепы возникает «квазифрактальная» структура, применимая к поверхности кучи щепы. Согласно теории фракталов Б. Мандельброта [18], вблизи поверхности кучи щепы образуется малоподвижный пограничный слой охлаждающего агента. В этом случае теплоотдача от кучи проходит условно в два этапа: от частиц щепы, формирующих поверхность кучи, к пограничному слою; от пограничного слоя к основной массе внешнего воздуха, совершающей свободное конвекционное или вынужденное (под воздействием ветра) движение. Тогда оценка для теплового потока (плотности теплового потока) от поверхности кучи щепы к внешнему воздуху может быть записана в следующем виде:

$$q = 2\mathrm{Re}^{1/2}\mathrm{Pr}_c^{1/6}\kappa_c(\Delta u_1 \Delta u_2)^{1/2}/l. \quad (24)$$

При этом используем ранее приведенные обозначения, а разности температур определим как

$$\Delta u_2 = u_{\text{skin}} - u_{\text{вн}}; \quad (25)$$

$$\Delta u_1 = u - u_{\text{skin}}, \quad (26)$$

где $u_{\text{skin}}$ – температура охлаждающего агента в пограничном слое.

Внутри эпицентра температуры (т. е. в простейшем случае сферически-симметричного эпицентра при $r < R$ (где $r$ – радиус зоны максимального нагрева; $R$ – радиус эпицентра)) к тепловому потоку градиентной природы следует добавить источник тепла, определяемый разогревом щепы в эпицентре под действием протекающих там физико-химических процессов (преимущественно процессов медленного окисления продуктов щепы, а при повышении температуры щепы в эпицентре выше некоторого предела – процессов тления). Тогда при $r < R$:

$$\partial_t u = k\Delta u + Q. \quad (27)$$

Поскольку локальный разогрев усиливает процессы медленного окисления древесных материалов, плотность источника тепла в точках эпицентра зависит от самой температуры в данной точке и ее локального градиента. Это приводит рассматриваемую модель в класс нелинейных моделей с аддитивной нелинейностью [20]:

$$Q = Q(u, \mathrm{grad}u); \quad (28)$$

$$\partial_t u = k\Delta u + Q(u, \mathrm{grad}u). \quad (29)$$

В случае асимметрии трехмерная задача может быть сведена к двумерной посредством метода Фурье для решения смешанных краевых задач применительно к уравнению теплопроводности. Для этого температурное поле в куче щепы представим в следующем виде:

$$u(r, z, \varphi) = e^{im\varphi}v(r, z), \quad (30)$$

где $m$ – целое число.

Подстановка данного представления в уравнение теплопроводности приведет к уравнению для $v(r, z)$:

$$\partial_t v = k\partial_r^2 v + k\frac{1}{r}\,\partial_r v - \frac{km^2}{r^2}v + k\partial_r^2 v + Q, \quad (31)$$

а при $m = 0$:

$$\partial_t v = k\partial_r^2 v + k\frac{1}{r}\,\partial_r v + k\partial_z^2 v + Q. \quad (32)$$

Общее решение задачи для материала выразится рядом Фурье:

$$u(r, z, \varphi) = \Sigma_m C_m v_m(r, z)e^{im\varphi}. \quad (33)$$

Поскольку температура материала, составляющего кучу щепы, является действительной величиной, то общее решение задачи перепишем в следующем виде:

$$u(r, z, \varphi) = \Sigma_m A_m v_{1m}(r, z)\sin m\varphi + B_m v_{2m}(r, z)\cos m\varphi. \quad (34)$$

Коэффициенты $A_m$ и $B_m$ определим из начальных условий, т. е. из начального распределения температуры в куче щепы. Интегрирование по переменным $r$ и $z$ произведем по всей поверхности кучи щепы:

$$A_m = \int_0^{2\pi} d\varphi \iint u(r, z, \varphi)|_{t=0}\, v_{1m}(r, z)\sin m\varphi\, rdrdz; \quad (35)$$

$$B_m = \int_0^{2\pi} d\varphi \iint u(r, z, \varphi)|_{t=0}\, v_{2m}(r, z)\cos m\varphi\, rdrdz. \quad (36)$$

Если источник тепла в эпицентре разогрева является сферически-симметричным или по меньшей мере осесимметричным, т. е. не зависит от угла φ, то уравнения для различных «мод» по углу φ для функций $v_{1m}(r, z)$ и $v_{2m}(r, z)$ являются независимыми. Если при этом начальное распределение температуры в куче щепы не зависит от угла φ, то распределение температуры в любой момент времени будет осесимметричным и не будет зависеть от угла φ. Таким образом, истинная осесимметричность решения определяется не только геометрией кучи, но и осесимметричным распределением начальной температуры кучи, а также независимостью от угла φ источников тепла и коэффициентов в уравнении теплопроводности [8].

Дальнейшее разделение переменных методом Фурье не может быть использовано для данного случая, поскольку область, в которой идет поиск решения двумерной задачи в виде уравнения теплопроводности для температуры материала, составляющего кучу щепы, не является прямоугольной:

$$u(r, z, \varphi) = e^{im\varphi}V(z)W(r), \quad (37)$$

где $V(z)$ – скорость передачи тепла по материалу вдоль оси симметрии; $W(r)$ – влажность в радиусе передачи тепла по материалу кучи щепы.

Сечение кучи, проходящее через ось симметрии, представляет собой треугольник (см. рисунок). По этой причине переменные $r$ и $z$ не могут быть разделены. Следовательно, необходимо использовать численные методы решения двумерного уравнения для функции $v(r, z)$.

При численном решении уравнения математической физики для теплопроводности важнейшим вопросом является обеспечение точности (ненарастания погрешности) при численном счете и устойчивости применения вычислительного алгоритма на разностной схеме (исключение возникновения высокочастотных «нефизических» колебаний большой амплитуды, искажающих получаемое численным счетом решение) [6–8].

Пусть центральная точка шаблона разностной схемы по пространству ($r$, $z$), тогда имеем:

$$\frac{v(r, z, t+\tau) - v(r, z, t)}{\tau} =$$

$$= k\left[\frac{v(r+h_r, z, t) - 2v(r, z, t) + v(r-h_r, z, t)}{h_r^2} + \frac{v(r, z+h_z, t) - 2v(r, z, t) + v(r, z-h_z, t)}{h_s^2}\right] + \quad (38)$$

$$+ \frac{k}{2r}\left[\frac{v(r+h_r, z, t) - v(r-h_r, z, t)}{h_r}\right] + Q(r, z),$$

где $\tau$ – шаг конечно-разностной схемы по времени; $h_r$ и $h_z$ – шаги по пространственным переменным.

Выбор шагов по пространству определяется следующими условиями:

$$\left|u(r+h_r, z, t) - u(r, z, t)\right| \le \Delta_u; \quad (39)$$

$$\left|u(r, z+h_r, t) - u(r, z, t)\right| \le \Delta_u, \quad (40)$$

где $\Delta_u$ – заданная точность (погрешность) моделирования.

Условия данного типа должны также выполняться в начальный момент времени для начального распределения температуры в куче щепы.

Благодаря принципу максимума, справедливому при решении уравнения теплопроводности, для моделей многих тепловых систем выполнение условий ограниченной погрешности по пространству в начальный момент времени (для начального распределения температуры в среде) автоматически обеспечивает выполнение такого условия в последующие моменты времени [21]. Разумеется, это справедливо при правильном выборе шага по времени для проведения расчетов с использованием рассматриваемой разностной схемы. Шаг по времени может быть выбран из условия устойчивости явной схемы:

$$\left(\frac{k\tau}{h_r^2} + \frac{k\tau}{h_z^2}\right) << \frac{1}{2}, \quad (41)$$

или в эквивалентной форме (считая, что среда изотропная):

$$\max\left\{\frac{k\tau}{h_r^2}, \frac{k\tau}{h_z^2}\right\} << \frac{1}{4}. \quad (42)$$

Запишем условие ограниченного нарастания погрешности во времени:

$$\max\left\{\frac{k\tau}{h_r^2}, \frac{k\tau}{h_z^2}\right\} \approx \left(\frac{\Delta t}{\tau}\right)^{-1}, \quad (43)$$

где $\Delta t$ – оценка полной длительности времени, для которого будет производиться расчет.

Если коэффициент $k$ зависит от температуры ($k = k(u)$), необходимо использовать следующие оценки:

$$\max_u\left(\frac{k(u)\tau}{h_r^2} + \frac{k(u)\tau}{h_z^2}\right) << \frac{1}{2}; \quad (44)$$

$$\max_u \max\left(\frac{k(u)\tau}{h_r^2}, \frac{k(u)\tau}{h_z^2}\right) << \frac{1}{4}; \quad (45)$$

$$\max_u \max\left(\frac{k(u)\tau}{h_r^2}, \frac{k(u)\tau}{h_z^2}\right) << \left(\frac{\Delta t}{\tau}\right)^{-1}. \quad (46)$$

На поверхности кучи щепы (границе с внешним воздухом) разностное уравнение модифицируется, поскольку производные на границе заменяются на свои выражения в силу рассмотренных ранее граничных условий 3-го рода (формула (46)). Рассмотрим, как модифицируется разностное уравнение, аппроксимирующее исходное уравнение теплопроводности на поверхности кучи щепы, в зоне ее охлаждения внешним воздухом. Пусть уравнение поверхности кучи щепы в плоском сечении, проходящем через ее ось симметрии (в координатах ($r$, $z$)) имеет следующий вид:

$$z = Z(r). \quad (47)$$

В рассматриваемом случае для кучи конической формы

$$z = b_2 - b_1 r, \quad (48)$$

где $b_1$, $b_2$ – размеры зоны охлаждения на границе с внешним воздухом.

Тогда

$$\frac{u(r, Z(r), t+\tau) - u(r, Z(r), t)}{\tau} = \quad (49)$$

$$= \left[\begin{array}{l} k\dfrac{u(r+h_r, Z(r), t) - u(r, Z(r), t)}{h_r^2} + \alpha\dfrac{u_{\text{вн}} - u(r, Z(r), t)}{h_r}\langle\vec{n}\big(Z(r)\big), \vec{e}_r\rangle + \\ + k\dfrac{u(r, Z(r)+\mathrm{h_z}, t) - u(r, Z(r), t)}{h_z^2} + \alpha\dfrac{u_{\text{вн}} - u(r, Z(r), t)}{h_z}\langle\vec{n}\big(Z(r)\big), \vec{\mathrm{e}}_z\rangle\langle\ldots\rangle \end{array}\right],$$

где $\vec{n}(Z(\mathrm{r}))$ – единичный вектор нормали к кривой (поверхности) $Z(r)$; $\vec{e}_r$ и $\vec{e}_z$ – орты системы координат (единичные векторы в направлении осей $r$ и $z$).

Запишем условия устойчивости разностной схемы и ограниченного нарастания погрешности расчета во времени на границе поверхности:

$$\left(\frac{k\tau}{h_r^2} + \frac{\alpha\tau}{h_r} + \frac{k\tau}{h_z^2} + \frac{\alpha\tau}{h_z}\right) << 1; \quad (50)$$

$$\left(\frac{k\tau}{h_r^2} + \frac{\alpha\tau}{h_r} + \frac{k\tau}{h_z^2} + \frac{\alpha\tau}{h_z}\right) \approx \left(\frac{\Delta t}{\tau}\right)^{-1}. \quad (51)$$

Несмотря на существенный прогресс в моделировании свойств дисперсных древесных материалов, для уточненных выводов по определению базовых параметров, включающих коэффициент теплопроводности, необходимо проведение экспериментальных исследований.

*Выводы*

1. Создана математическая модель формирования тепловых полей в массиве кучи измельченной древесины при хранении.

2. Установлено, что при формировании насыпных куч технологической щепы необходимо учитывать состав древесного материала и температурно-влажностные условия в массиве кучи.

3. Математическая модель может быть применена при совершенствовании процесса хранения технологической щепы, оперативного контроля и управления процессом теплоотвода из массива кучи измельченной древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Авдуевский В.С., Сорокин В.П., Ягодкин И.В.* Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. М.: Машиностроение, 1975. 256 с. [Avduyevskiy V.S., Sorokin V.P., Yagodkin I.V. *Heat Transfer Principles in Rocket and Space Equipment*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1975. 256 p.].

2. *Белозерцев В.Н., Бирюк В.В., Толстоногов А.П.* Теплотехника. Самара: Самар. ун-т; 2001. 86 с. [Belozertsev V.N., Biryuk V.V., Tolstonogov A.P. *Heat Engineering*. Samara, Samarskiy universitet Publ., 2001. 86 p.].

3. *Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодкин И.В.* Физические основы тепловых труб. М.: Атомиздат, 1978. 256 с. [Ivanovskiy M.N., Sorokin V.P., Yagodkin I.V. *Physical Principles of Heat Pipes*. Moscow, Atomizdat Publ., 1978. 256 p.].

4. *Исаев С.И., Кожинов И.А., Кофанов В.И.* Теория тепломассообмена / под ред. А.И. Леонтьева. М.: Высш. шк., 1979. 495 с. [Isayev S.I., Kozhinov I.A., Kofanov V.I. *Theory of Heat and Mass Exchange*. Ed. by A.I. Leont'yev. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 495 p.].

5. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 417 с. [Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Heat Transfer*. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 417 p.].

6. *Кошкин В.К., Калинин Э.К.* Теплообменные аппараты и теплоносители. М.: Машиностроение, 1971. 200 с. [Koshkin V.K., Kalinin E.K. *Heat Exchangers and Heat Carriers*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1971. 200 p.].

7. *Кутателадзе С.С.* Основы теории теплообмена. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1979. 416 с. [Kutateladze S.S. *Fundamentals of the Theory of Heat Exchange*. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p.].

8. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967. 600 с. [Lykov A.V. *Theory of Thermal Conductivity*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967. 600 p.].

9. *Лыков А. В.* Тепломассообмен: справ. М.: Энергия, 1971. 479 с. [Lykov A.V. *Heat and Mass Exchange*: Handbook. Moscow, Energiya Publ., 1971. 479 p.].

10. *Михеев М.А., Михеева И.М.* Основы теплопередачи. 2-е изд. М.: Энергия, 1977. 343 с. [Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Heat Transfer Principles*. Moscow, Energiya Publ., 1977. 343 p.].

11. *Николаев Г.П., Изотеева О.Ю.* Расчет рабочих характеристик контурных тепловых труб // Молодой ученый. 2012. № 3. С. 17–25. [Nikolayev, G.P., Zoteyeva O.Yu. Performance Analysis of Loop Heat Pipes. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2012, no. 3, pp. 17–25].

12. *Угланов Д.А.* Численное моделирование тепловых процессов аппаратов. Самара: Самар. ун-т, 2017. 34 с. [Uglanov D.A. *Numerical Simulation of Thermal Processes of Apparatus*. Samara, Samarskiy universitet Publ., 2017. 34 p.].

13. *Юдаев Б.Н.* Теплопередача. М.: Высш. шк., 1973. 359 с. [Yudayev B.N. *Heat Transfer*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 359 p.].

14. *Юрьев В.Н., Лебедев П.Д.* Теплотехнический справочник: в 2 т. Т. 2. 2-е изд., перераб. М.: Энергия, 1976. 896 с. [Yur'yev V.N., Lebedev P.D. *Heat Engineering Handbook*. In 2 vol. Vol. 2. Moscow, Energiya Publ., 1976. 896 p.].

15. Braza M., Chassiang P., Ha Minh H. Numerical Study and Physical Analysis of Pressure and Velocity Field in the Near Wake of a Circular Cylinder. *Journal of Fluid Mechanics*, 1986, vol. 165, pp. 79–130. DOI: 10.1017/S0022112086003014

16. Lef B.I., Kesler M.G. A Generalized Thermodynamic Correlation Based on Three-Parameter Corresponding States. *AlChE Journal*, 1975, vol. 21, iss. 3, pp. 510–527. DOI: 10.1002/aic.690210313

17. LeVeque R.J. *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*. Cambridge, Cambridge University Press, 2002. 558 p.

18. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco, W.H. Freeman, 1982. 468 p.

19. Srinivas M., Ravisankar M.S., Seetharamu K.N., Aswathanarayana P.A. Finite Element Analysis of Internal Flows with Heat Transfer. *Sadhana*, 1994, vol. 19, iss. 5, pp. 785–816. DOI: 10.1007/BF02744405

20. Stefan J. Ueber die Theorie der Eisbildung, insbesondere über die Eisbildung im Polarmeere. *Annalen der Physik*, 1891, vol. 278, iss. 2, pp. 269–286. DOI: 10.1002/andp.18912780206

21. Varaprasad Patnaik B.S., Gowda Y.T.K., Ravisankar M.S., Aswatha Narayana P.A., Seetharamu K.N. Finite Element Simulation of Internal Flows with Heat Transfer Using a Velocity Correction Approach. *Sadhana*, 2001, vol. 26, iss. 3, pp. 251–283. DOI: 10.1007/BF02703387

22. Zabaras N., Ruan Y. A Deforming Finite Element Method Analysis of Inverse Stefan Problems. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1989, vol. 28, iss. 2, pp. 295–313. DOI: 10.1002/nme.1620280205

## SIMULATION OF THE TEMPERATURE FIELD IN THE CRUSHED WOOD HEAP MASSIF

***A.N. Desnev*[1,2]**, *Senior Lecturer; ORCID: 0000-0002-7941-645X*
***G.F. Prokof'ev*[1]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: G-9482-2019; ORCID: 0000-0003-4494-4989*
***V.Yu. Tyurikov*[1]**, *Master; ORCID: 0000-0002-6358-5822*
[1]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: g.prokofjev@narfu.ru, a.n.desnev@yandex.ru
[2]LLC "ARKhPOZhSERVIS", prosp. Chumbarova-Luchinskogo, 30, etazh 2, pomeshcheniye 2, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: a.n.desnev@yandex.ru

Storage of the crushed wood materials at the wood processing enterprises is carried out in the open air in formed heaps of various sizes and shapes. The disadvantage of such storage is uncontrolled self-heating of chips to critical temperatures driven by thermophiles. The payload mass of wood gets lost, its quality significantly degrades, and a risk of flame development appears without proper control. In order to prevent negative consequences, it is necessary to reject the excess heat energy from the massif of crushed wood material into the environment. Heat rejection will allow to establish control over thermal processes and operate with temperature fields inside a heap. Production engineering measures can be carried out with the use of heat pipes. This method is effective and environmentally friendly; and does not require the involvement of commercial energy consumption. Basic studies of the processes occurring in the heap massif of crushed wood were carried out for solution substantiation. The research purpose is to identify mathematical regularities describing the influence of the key factors on the processes of self-heating of crushed wood stored as the cone-formed heaps in the open air conditions. Methods of mathematical simulation, probability theory and mathematical statistics with the use of computational software systems were used as a part of the study. As a result, a system of equations those simulate the processes of self-heating of crushed wood and allow to predict the temperature field inside a heap to a given time interval is obtained, which will allow developing methods of industrial chips safe storage.

***For citation:*** Desnev A.N., Prokof'ev G.F., Tyurikov V.Yu. Simulation of the Temperature Field in the Crushed Wood Heap Massif. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 213–223. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.213

*Keywords:* storage of crushed wood, chips, heat pipe, thermal conductivity of dispersed materials, heat capacity of dispersed materials, wood self-heating.

Поступила 31.03.19 / Received on March 31, 2019

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.2
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.224

# ДЕЭМУЛЬГИРОВАНИЕ СУЛЬФАТНОГО МЫЛА ПРИ ВВЕДЕНИИ НЕИНОГЕННОГО ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА

***О.С. Андранович*[1]*, асп.;*** *ResearcherID: P-5570-2019,*
*ORCID: 0000-0002-7947-7068*
***Е.Ю. Демьянцева*[1]*, канд. хим. наук;*** *Researcher ID: P-5165-2019,*
*ORCID: 0000-0001-9570-1827*
***А.П. Филиппов*[1,2]*, д-р физ.-мат. наук;*** *ResearcherID: A-9157-2013,*
*ORCID: 0000-0002-8729-6275*
***Р.А. Смит*[1]*, асп.;*** *Researcher ID: O-2661-2019,*
*ORCID: 0000-0002-9665-4636*
[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: ilonichka3377@mail.ru, demyantseva@mail.ru, zz1234567@yandex.ru
[2]Институт высокомолекулярных соединений РАН, Большой просп. В.О., д. 31, Санкт-Петербург, Россия, 199004; e-mail: afil@imc.macro.ru

Инновационным решением для целлюлозно-бумажной промышленности в условиях динамично развивающегося рынка лесопромышленной продукции является биорефайнинг, основанный на комплексной и глубокой переработке древесного сырья с получением продуктов, имеющих высокую добавленную стоимость, и минимизацией отходов. Выделение из отработанных щелоков органических веществ, представляющих вторичные продукты производства в технологии переработки древесины, – актуальная задача биорефайнинга. Существующая технология выделения побочного продукта (сульфатного мыла) из отработанных щелоков технологически сложна и энергоемка. Все это делает процесс получения сульфатного мыла для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности малопривлекательным, несмотря на то, что оно является сырьем для изготовления широкого ассортимента продуктов с высокой добавленной стоимостью (биологически активные вещества, талловое масло, канифоль и др.). Представлены коллоидно-химические характеристики сульфатного мыла, выделенного из черных щелоков от варки различных пород древесины. Предложен способ его извлечения, основанный на агрегации частиц мыла за счет введения деэмульгатора. Установлено, что при добавлении неионогенного поверхностно-активного вещества (неонола АФ 9-6) в раствор сульфатного мыла существенно снижается молекулярно-растворенная часть мыла, при этом дисперсная составляющая представленной системы возрастает до 98 %. В результате наблюдается ухудшение агрегативной и седиментационной устойчивости и, как следствие, укрупнение частиц мыла. Методом динамического светорассеяния зафиксировано увеличение в 4 раза размеров частиц мыла при введении деэмульгатора. Это позволит повысить скорость седиментации сульфатного мыла в черном щелоке в десятки раз и ускорить процесс его отстаивания. Предложенный способ может стать основой наукоемкой технологии извлечения побочного продукта из производственных растворов предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.

***Для цитирования:*** Андранович О.С., Демьянцева Е.Ю., Филиппов А.П., Смит Р.А. Деэмульгирование сульфатного мыла при введении неиногенного поверхностно-активного вещества // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 224–232. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.224

*Ключевые слова*: сульфатное мыло, черный щелок, деэмульгаторы, агрегация, мицеллообразование.

*Введение*

В настоящее время одним из важнейших факторов успешной деятельности отечественных предприятий целлюлозно-бумажной отрасли является внедрение ресурсосберегающих конкурентоспособных доступных технологий, основанных на применении универсальных реагентов, способствующих интенсификации производственных процессов на всех этапах получения основного и вторичного продуктов. Задача этих технологий – получение продукции высокого качества с максимальным извлечением вторичного продукта при меньших расходах. Это возможно при внедрении био-рефайнинга древесины, т. е. производства продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой комплексной механо-химической переработки лесных ресурсов [1]. Одним из путей био-рефайнига может стать выделение вторичного продукта (сульфатного мыла) из производственных щелоков с последующим его эффективным использованием [4, 5].

Сульфатное мыло служит сырьем для получения талловых продуктов (талловое масло, фитостерины, лигноталловые композиции), биологически активных компонентов, нейтральных веществ, которые широко применяются в фармацевтической, горно-обогатительной, меховой и кожевенной отраслях промышленности. В связи с этим увеличение выхода сульфатного мыла с сохранением его качественного состава – одна из важных задач технологии получения вторичных продуктов [3].

Существующая в настоящее время технология выделения сульфатного мыла технологически сложна и энергоемка, основана на концентрировании и упаривании щелоков. Эффективность извлечения составляет не более 50 %, так как в основном происходит выделение только грубодисперсной фракции мыла, при этом коллоидно- и молекулярно-растворенные части остаются в растворе [9–13].

Сульфатное мыло представляет собой многокомпонентную композицию различных органических веществ: натриевых солей смоляных и жирных кислот, неомыляемых соединений [11, 14]. На основании проведенных ранее исследований коллоидно-химических свойств органических веществ в щелоках было показано, что органические вещества, перешедшие в процессе варки в раствор, находятся в виде многокомпонентного комплекса, полученного в результате гетерокоагуляции [6]. Присутствие в его составе солей высших органических кислот, обладающих поверхностно-активными свойствами, придает устойчивость полученным дисперсным системам, что вызывает трудности их разрушения при переработке [15–20].

Принцип предложенной технологии базируется на замене стадии концентрирования и упаривания черных щелоков увеличением коллоидной и грубодисперсной частей растворов сульфатного мыла путем введения в отработанный щелок композиционных составов на основе амфифильных соединений, способствующих деэмульгированию и агрегации частиц мыла, что поз-

волит сделать процесс извлечения вторичного продукта энергосберегающим и безотходным.

*Объекты и методы исследования*

Объектами исследования являлись сульфатное облагороженное мыло АО «Сегежский ЦБК», сульфатное хвойное и лиственное мыло ЗАО «Интернешнл Пейпер» (г. Светогорск), а также неонол АФ 9-6 – оксиэтилированный моноалкилфенол на основе тримеров пропилена, высокоэффективное неионогенное поверхностно-активное вещество (ПАВ) отечественного производства ($C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_6H$).

Исследования коллоидно-химических характеристик раствора ПАВ проводили тензиометрическим методом отрыва кольца Дю-Нуи [7] (диаметр платинового кольца 22 мм). Для приготовления растворов использовали дистиллированную воду с удельной электропроводностью 3 мкСм/см. На полученных изотермах поверхностного натяжения отсутствует минимум, характерный для примесей, поэтому все объекты исследования дополнительной очистке не подвергали. Погрешность измерения поверхностного натяжения 5 %.

Для измерения гидродинамических радиусов диспергированных в жидкости наноразмерных частиц применяли метод динамического светорассеяния на установке Photocor Complex («Photocor Instruments Inc.», Россия). Источником света служил диодный лазер Photocor-DL (длина волны 658,7 нм). Корреляционную функцию интенсивности рассеянного света получали с помощью коррелятора Photocor-PC2 с числом каналов 288 и обрабатывали с помощью программного обеспечения Dynal S. Эксперименты проводили при температуре 21 °С. Концентрация растворов составляла 0,0025...0,12 %. Растворы фильтровали через фильтры Chromafil Xtra PA с диаметром пор 0,45 μm.

Полученные результаты усредняли для 3-4 параллельных опытов.

Степень агрегации мицелл ($N$) различных видов мыла была оценена как отношение мицеллярной массы сульфатного мыла, полученного методом светорассеяния, к молекулярной массе структурной составляющей (олеата или абиетата натрия):

$$N = \frac{M_м}{M}.$$

*Результаты исследования и их обсуждение*

На рис. 1 представлена зависимость критической концентрации мицеллообразования (ККМ) сульфатного мыла от температуры.

Как видно из рис. 1, присутствие неомыляемых веществ в растворах сульфатного мыла хвойной и лиственной древесины резко снижает мицеллообразующую способность натриевых солей высших органических кислот. Согласно литературным данным [8], ККМ облагороженного мыла соответствует значению при соотношении абиетата натрия и олеата натрия 75 : 25. Повышение температуры способствует увеличению ККМ, что объяснятся дезагрегирующим влиянием усиливающегося теплового движения ионов жирных и смоляных кислот.

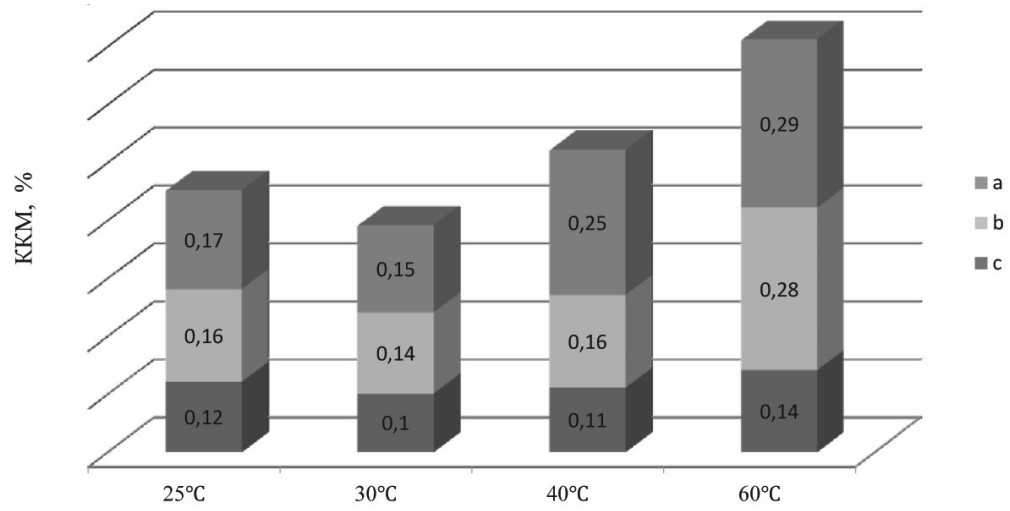



Рис. 1. Влияние температуры на ККМ хвойного (a), лиственного (b) и облагороженного (c) сульфатного мыла

Fig. 1. The influence of temperature on the critical micelle concentration (CMC, %) of coniferous (a), deciduous (b), and treated (c) sulphate soaps

Ухудшение коллоидизации раствора хвойного сульфатного мыла с повышением температуры можно объяснить полицикличностью составляющих его соединений в отличие от прямых цепей солей жирных кислот, преимущественно содержащихся в лиственном сульфатном мыле [21].

Для интенсификации выделения сульфатного мыла были использованы деэмульгирующие вещества, которые за счет более высокой поверхностной активности способны вытеснять с поверхности стабилизирующие вещества, находящиеся в адсорбционном слое эмульсий сульфатного мыла. Проведенные ранее исследования показали низкую деэмульгирующую эффективность неионогенных ПАВ (Синтанола ДС-10 и Синтамида-5) [2]. Вероятно, это связано с их повышенной способностью образовывать эмульсии первого рода.

Результаты коллоидно-химического исследования неионогенного ПАВ – неонола АФ 9-6, способного образовывать эмульсии второго рода при различных температурах, представлены в таблице.

**Зависимость ККМ и поверхностной активности (G) неонола АФ 9-6 от температуры**

| Температура, °С | ККМ·$10^3$, масс. % | G, мДж·м/кг |
|---|---|---|
| 25 | 2,5 | 1558,4 |
| 30 | 2,6 | 1455,7 |
| 35 | 2,5 | 1494,0 |
| 40 | 2,7 | 1361,1 |
| 45 | 2,7 | 1345,5 |
| 50 | 2,5 | 1432,4 |
| 60 | 2,5 | 1403,2 |

Как видно из таблицы, неонол АФ 9-6 наиболее поверхностно активен при температуре 25 °С, что связано с небольшим количеством оксиэтиленовых групп, понижающих его растворимость в воде, и, как следствие, лучшей адсорбцией ПАВ в поверхностном слое.

Было изучено воздействие неонола АФ 9-6 на агрегативную устойчивость молекул сульфатного мыла в водных растворах (рис. 2).

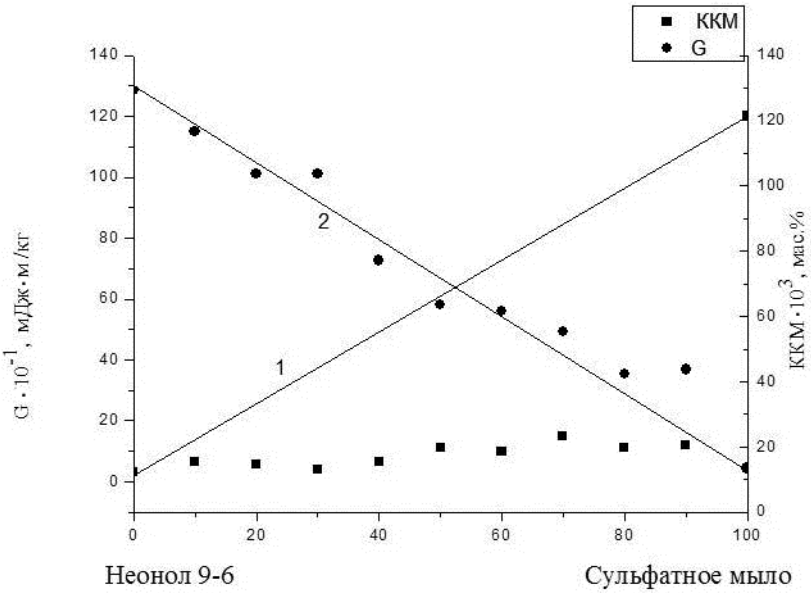



Рис. 2. Влияние добавки неонола АФ 9-6 на ККМ и G облагороженного сульфатного мыла: 1 и 2 – прямые аддитивных значений соответственно ККМ и поверхностной активности G

Fig. 2. The influence of the neonol AF 9-6 addition on the critical micelle concentration (CMC, %) and the surface activity (G, mJ·m/kg) of the treated sulphate soap, 1 and 2 are additive lines of CMC and G, respectively

Как видно из рис. 2, ККМ бинарных смесей веществ изменяется в диапазоне 0,005...0,100 %. Наибольшее отклонение от аддитивных значений наблюдается при добавлении неонола АФ 9-6 в количестве 10 %. ККМ при этом составила 0,02 %. Таким образом, использование неонола АФ 9-6 позволило повысить дисперсную часть раствора сульфатного мыла приблизительно на 20 %, увеличив ее до 98...99 % [21].

Для доказательства агрегации исследуемых систем сульфатного мыла при воздействии ПАВ методом динамического светорассеяния был определен радиус частиц дисперсной фазы растворов сульфатного мыла [22] (рис. 3).

Как видно из рис. 3, частицы сульфатного мыла находятся в микрогетерогенной области дисперсности. По-видимому, они представляют собой агрегаты, образованные в результате гидрофобного взаимодействия компонентов мыла. Введение неонола АФ 9-6 вследствие адсорбции ПАВ в поверхностном слое мицелл сульфатного мыла вызывает дестабилизацию эмульсий мыла и повышает степень агрегации молекул.

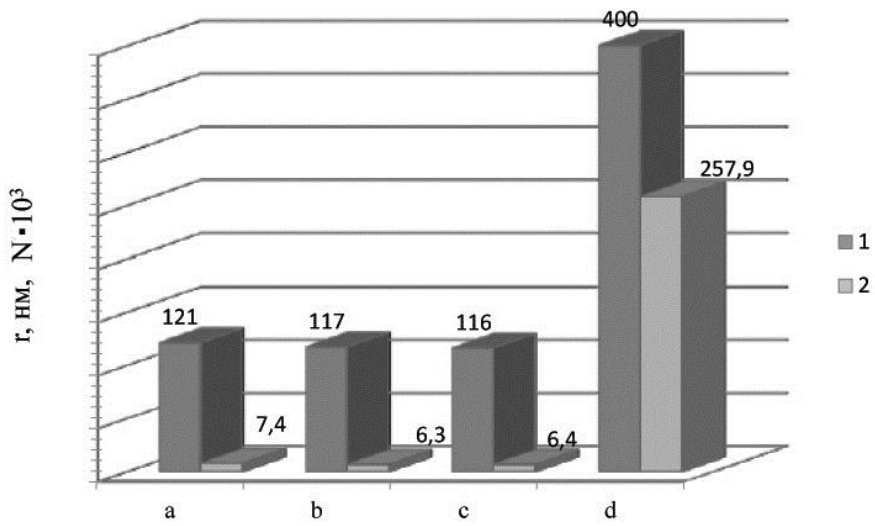



Рис. 3. Радиус r (1) и степень агрегации частиц N (2) хвойного (a), лиственного (b) и облагороженного (c) мыла и смеси облагороженного сульфатного мыла с неонолом АФ 9-6 в соотношении 90 : 10 (d)

Fig. 3. Radius (1) and a particle aggregation number N (2) of coniferous (a), deciduous (b), and treated (c) soaps and a mixture of the treated sulphate soap and neonol AF 9-6 at the ratio 90 : 10 (d)

В результате образуются крупные частицы размером до 400 нм. Согласно уравнению Стокса [19], скорость седиментации частиц пропорциональна квадрату их радиуса, это позволяет предположить увеличение скорости отстаивания сульфатного мыла из щелоков в десятки раз.

*Заключение*

Таким образом, представленный способ деэмульгирования сульфатного мыла под действием неионогенного ПАВ (неонола АФ 9-6) может стать основой технологии извлечения побочных продуктов из черных щелоков на предприятиях ЦБП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аким Э.Л.* Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) в мире и в России // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы второй междунар. науч.-техн. конф. Т. 3. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. С. 198–202. [Akim E.L. Pulp and Paper Industry in the world and in Russia. *Proceedings of the Second International Scientific and Technical Conference "Forests of Russia: Politics, Industry, Science, and Education"*. Saint Petersbutg, SPbGLTU, Publ. 2017, pp. 198–202].

2. *Андранович О.С., Демьянцева Е.Ю., Смит Р.А., Харламова А.Н.* Влияние поверхностно-активных добавок на коллоидно-химические свойства сульфатного мыла // Вестн. молодых ученых С.-Петерб. гос. ун-та технологии и дизайна. 2017. № 1. С. 60–63. [Andranovich O.S., Demiantseva E.Yu., Smit R.A., Kharlamova A.N. The Effect of Surface-Active Additives on the Colloid-Chemical Properties of Sulphate Soap. *Vestnik molodykh uchenykh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna*, 2017, no. 1, pp. 60–63]. Режим доступа: http://publish.sutd.ru/docs/content/ vestnik_mu1_2017.pdf.

3. *Богомолов Б.Д., Буцаленко В.С., Осташенко М.И., Мариев А.А.* Направление использования таллового пека // Лесохимия и подсочка (обзор. информ.). М.: ВНИПИЭИлеспром, 1989. № 1. 28 с. [Bogomolov B.D., Butsalenko V.S., Ostashenko M.I., Mariyev A.A. Direction of Use of Tall Oil Pitch. *Lesokhimiya i podsochka (obzornaya informatsiya)*, 1989, no. 1, p. 28].

4. *Владимирова Т.М., Соколов О.М., Третьяков С.И.* Повышение выхода экстрактивных веществ дерева в процессе щелочной делигнификации // Материалы междунар. конф. «Физикохимия лигнина». Архангельск, 2005. С. 157–160. [Vladimirova T.M., Sokolov O.M., Tret'yakov S.I. Increasing the Yield of Wood Extractives in Alkaline Delignification. *Proceedings of the International Conference "Physical Chemistry of Lignin"*. Arkhangelsk, 2005, pp. 157–160].

5. *Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Третьяков С.И., Богданович Н.И., Соколов О.М., Кутакова Н.А., Селянина Л.И.* Комплексная химическая переработка древесины / под ред.. И.Н. Ковернинского. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 347 с. [Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Tret'yakov S.I. *Complex Chemical Processing of Wood* Ed. by I.N. Koverninskiy. ASTU Publ., 2002. 347 p.].

6. *Лысогорская Н.П., Демьянцева Е.Ю., Клюбин В.В.* О гетерогенности водно-щелочных растворов сульфатного лигнина и смолы древесины // Коллоид. журн. 2002. Т. 64, № 3. С. 427–429. [Lysogorskaya N.P., Dem'yantseva E.Yu., Klyubin V.V. On the Inhomogeneity of Aqueous Alkaline Solutions of Sulfate Lignin and Wood Resin. *Kolloidnyy zhurnal* [Colloid Journal], 2002, vol. 64, no. 3, pp. 427–429]. DOI: 10.1023/A:1015989330575

7. *Осовская И.И., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С.* Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи : ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. 24 с. [Osovskaya I.I., Dem'yantseva E.Yu., Andranovich O.S. *Determination of Surface Tension by the Anchor-Ring Method* (*Du Nui Method*). Saint Petersburg, VShTE SPbGUPTD Publ., 2016. 24 p.].

8. *Труфанова М.В., Селянина С.Б., Афанасьев Н.И.* Влияние сульфатного лигнина ели на коллоидно-химические свойства основных компонентов сульфатного мыла (сообщение 1) // Химия растит. сырья. 2010. № 2. С. 23–26. [Trufanova M.V., Selyanina S.B., Afanas'yev N.I. The Effect of Spruce Sulphate Lignin on the Colloid-Chemical Properties of the Main Components of Sulphate Soap (Report 1). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw material], 2010, no. 2, pp. 23–26].

9. *Фейгус Э.И., Змачинская Н.Е.* Выделение и сбор сульфатного мыла // Целлюлоза. Бумага. Картон (обзор. информ.). М.: ВНИПИЭИлеспром, 1990. № 9. 48 с. [Feygus E.I., Zmachinskaya N.E. Sulphate Soap Isolation and Skimming. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton (obzornaya informatsiya)*, 1990, no. 9. 48 p.].

10. *Филиппов Б.С.* О выделении сульфатного мыла из черных щелоков // Лесн. журн. 1964. № 1. С. 154–158. (Изв. высш. учеб. заведений). [Filippov B.S. On the Isolation of Sulphate Soap from Black Liquor. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1964, no. 1, pp. 154–158]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1964.pdf

11. *Филиппов Б.С.* Оценка состава смолистых веществ сульфатного мыла // Лесн. журн. 1973. № 5. С. 102–105. (Изв. высш. учеб. заведений). [Filippov B.S. Assessment of the Composition of Resinous Substances of Sulphate Soap. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1973, no. 5, pp. 102–105]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1973/5.pdf

12. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1988. 464 с. [Frolov Yu.G. *Course of Colloid Chemistry. Surface Phenomena and Disperse Systems*. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 464 p.].

13. *Царев Г.И., Некрасова В.Б.* Побочные продукты производства сульфатной целлюлозы и их использование при получении древесных плит // Лесохимия и подсочка (обзор. информ.) М.: ВНИПИЭИлеспром, 1985. № 3. 40 с. [Tsarev G.I., Nekrasova V.B. Sulphate Pulp Production By-Products and Their Use in the Production

of Wood-Based Panels. *Lesokhimiya i podsochka (obzornaya informatsiya)*, 1985, no. 3. 40 p.].

14. *Цветков А.А., Богданович Н.И., Селянина С.Б.* Извлечение сульфатного мыла, как способ увеличения эффективности работы предприятия ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2014. № 7. С. 58–61. [Tsvetkov A.A., Bogdanovich N.I., Selyanina S.B. Removing of Sulphate Soap as a Way to Increase the Efficiency of Pulp and Paper Enterprises. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2014, no. 7, pp. 58–61].

15. Evdokimov A.N., Kurzin A.V., Trifonova A.D., Popova L.M., Buisman G.J.H. Desulfurization of Black Liquor Soap for Production of Crude Tall Oil with Lower Sulfur Content. *Wood Science and Technology*, 2017, vol. 51, iss. 6, pp. 1353–1363. DOI: 10.1007/s00226-017-0912-y

16. Gu X.-F., Huo J., Wang R.-T., Wu D.-C., Yan Y.-L. Synergism in Mixed Zwitterionic Surface Activity Ionic Liquid and Anionic Surfactant Solution: Analysis of Interfacial and Micellar Behavior. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2014, vol. 36, iss. 3, pp. 334–342. DOI: 10.1080/01932691.2014.901915

17. Huibers D.T.A., Rogers R.R. Environmental Aspects of Tall Oil Distillation. *INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials*, 1994, no. 4. 526 p.

18. Prado F.I. Air Emissions Aspects, Tall Oil Plants. *INFORM: International News on Fats, Oils and Related Materials*, 1994, no. 4. 526 p.

19. Selyanina S.B, Makarevich N.A., Tel'tevskaya S.E., Afanas'eva N.I., Selivanova N.V. Influence of Adsorption of Lignosulfonates on Kraft Lignin in the Presence of Tall Oil on Separation of Water-Tall Oil Emulsion. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2002, vol. 75, iss. 11, pp. 1873–1877. DOI: 10.1023/A:1022243010785

20. Selyanina S.B., Selivanova N.V., Afanasiev N.I., Trufanova M.V. The Model Investigations of the Behavior of Heterogeneous Systems with Participation of Lignin and Extractive Substances. *Proceedings of the 8th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP 2004), Riga, Latvia*. Riga, 2004, pp. 285–289.

21. Tikka P., Kovasin K., Laxén T. Solving Soap and Turpentine Related Process Problems in Softwood Kraft Mills. *Pulp and Paper Canada*, 2002, vol. 103, pp. 30–35.

22. Zubarev A.Yu., Iskakova L.Yu. To the Theory of the Aggregation of Polydisperse Colloids. *Colloid Journal*, 2004, vol. 66, iss. 3, pp. 296–301. DOI: 10.1023/B:COLL.0000030839.66688.ea

## SULPHATE SOAP DEMULSIFYING WITH ADDITION OF NON-IONIC SURFACTANT

***O.S. Andranovich*[1]**, *Postgraduate Student; ResearcherID: P-5570-2019, ORCID: 0000-0002-7947-7068*
***E.Yu. Demiantseva*[1]**, *Candidate of Chemistry; ResearcherID: P-5165-2019, ORCID: 0000-0001-9570-1827*
***A.P. Filippov*[1,2]**, *Doctor of Physics and Mathematics; ResearcherID: A-9157-2013, ORCID: 0000-0002-8729-6275*
***R.A. Smit*[1]**, *Postgraduate Student; ResearcherID: O-2661-2019, ORCID: 0000-0002-9665-4636*
[1]Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: ilonichka3377@mail.ru, demyantseva@mail.ru, zz1234567@yandex.ru
[2]Institute of Macromolecular Compounds of the Russian Academy of Sciences, Bol'shoy prospekt Vasil'yevskogo ostrova, 31, Saint Petersburg, 199004, Russian Federation; e-mail: afil@imc.macro.ru

Biorefining based on comprehensive and advanced processing of wood raw materials with getting the products of a high added value and waste reduction is an innovative solution at

the fast-growing market of the pulp and paper industry. Isolation of organic substances, which represent by-products in wood processing technology, from spent liquors is an urgent issue of biorefining. The current technology of sulphate soap extraction (which is a by-product) from spent liquors is process complicated and energy-intensive. All this makes the sulphate soap extraction disadvantageous, despite the fact that the soap is a raw material for production of a wide range of products with a high added value: bioactive substances, tall oil, rosin, etc. This article presents the colloid-chemical properties of sulphate soap separated from black liquors of various wood species pulping. A method of sulfate soap extraction based on soap particles aggregation through addition of a demulsifier is proposed. It was found that with addition of non-ionic surfactant neonol AF 9-6 into the solution of sulphate soap, the molecularly dissolved part of the soap is significantly reduced, while the dispersed component of the presented system increases up to 98 %. As a result, deterioration of aggregative and sedimentation stability and, as a consequence, aggregation of soap particles are observed. A size quadruplication of soap particles was recorded with addition of demulsifier by the method of dynamic light scattering. This will allow to increase the sedimentation rate of sulfate soap in black liquor dozens of times and speed up its sedimentation. The proposed method can be the foundation of a High-Tech technology of by-product separation from production solutions of the pulp and paper enterprises.

***For citation:*** Andranovich O.S., Demiantseva E.Yu., Filippov A.P., Smit R.A. Sulphate Soap Demulsifying with Addition of Non-Ionic Surfactant. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 224–232. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.224

*Keywords:* sulphate soap, black liquor, demulsifiers, aggregation, micelle formation.

Поступила 02.04.19 / Received on April 02, 2019

УДК 676.26
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.233

# ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО КАРТОНА*

***С.И. Басырова, асп.;*** *ORCID: 0000-0001-5409-6704*
***М.Ф. Галиханов, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: P-2778-2015, ORCID: 0000-0001-5647-1854*
***Л.Р. Галеева, канд. техн. наук, доц.;*** *ResearcherID: AAE-8448-2019, ORCID: 0000-0001-9004-4549*
Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420015;
e-mail: basyrova.sara@mail.ru, mgalikhanov@yandex.ru

Исследовано влияние модификации картона на комплекс его поверхностных свойств. Поверхностные свойства картона рассчитывали исходя из значений краевого угла смачивания 5 различных жидкостей. Впитываемость образцов определяли методом полного погружения и капельным способом. Оценено влияние обработки картона полилактидным и крахмальным покрытиями на его смачиваемость и впитываемость. Было установлено, что при нанесении биоразлагаемых полимеров на картон происходит изменение свободной поверхностной энергии: обработка полилактидным покрытием уменьшает эту характеристику примерно на 37 %, крахмальным – незначительно увеличивает (около 3 %). При нанесении полилактидного покрытия впитываемость картона при полном погружении снижается в 1,7 раз, при нанесении крахмального покрытия эта характеристика незначительно возрастает (на 6 %). Подобные зависимости отмечены при изучении капельной впитываемости картона: полилактидное покрытие предотвращало впитываемость капли воды, время впитываемости картона при обработке крахмальным покрытием уменьшается. Показана возможность изменения свойств целлюлозно-бумажных материалов с помощью униполярного коронного разряда. Придание электретного состояния целлюлозно-бумажным материалам оценивали по значениям потенциала поверхности, напряженности электростатического поля и эффективной поверхностной плотности электрических зарядов. При обработке постоянным коронным разрядом исходных образцов картона и картона, модифицированного крахмалом или полилактидом, происходит уменьшение поверхностной энергии в среднем на 20...25 %. Это приводит к тому, что впитываемость модифицированного картона при полном погружении становится меньше, чем у исходного картона, а время впитываемости капли воды увеличивается примерно в 1,3 раза.

***Для цитирования:*** Басырова С.И., Галиханов М.Ф., Галеева Л.Р. Поверхностные свойства модифицированного картона // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 233–240. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.233

*Ключевые слова:* картон, биодеградируемые полимеры, композиционные материалы, коронный разряд, смачивание, поверхностная энергия.

*Статья подготовлена по материалам V Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» (11–14 сентября 2019 г., г. Архангельск).

*Введение*

Известно, что эксплуатационные свойства материалов можно изменять при помощи физических полей различной природы, например постоянного коронного разряда [3, 7, 17, 20, 23]. Особенно это актуально для материалов с низкими механическими, барьерными или иными свойствами.

Известно [8], что целлюлозно-бумажные материалы (ЦБМ) хорошо впитывают влагу, что ведет к снижению их прочностных характеристик. Для устранения этого недостатка их комбинируют с полимерами. Однако это ведет к другой проблеме – такие комбинированные материалы почти не поддаются вторичной переработке, а при захоронении имеют длительный срок разложения в окружающей среде [2, 9]. Решением этой проблемы является создание экологически чистых материалов, которые будут обладать такими же прочностными характеристиками, как и синтетические. Экологически чистые упаковочные материалы на основе картона или бумаги можно комбинировать с природными биодеградируемыми крахмалом (КР) или полилактидом (ПЛА). Крахмал является полисахаридом и входит в состав большинства видов бумаги и картона. ПЛА получают из возобновляемого растительного сырья, он перерабатывается в изделия всеми методами переработки пластмасс. Применение биодеградируемых полимеров позволяет сохранить важное экологическое достоинство ЦБМ – их биоразлагаемость [1, 3, 6, 15–18].

Однако по некоторым характеристикам КР и ПЛА уступают традиционным синтетическим полимерам. В ряде работ было показано, что обработка ЦБМ в поле отрицательного коронного разряда приводит к улучшению их механических свойств благодаря упрочнению сил связи между волокнами [4, 19]. При чем, при модифицировании мешочной бумаги полилактидным или крахмальным покрытиями и применении униполярного коронного разряда улучшается ее биоразлагаемость, что связано с природой полимеров и частичной деструкцией макромолекул целлюлозы при действии разряда.

Не ясен вопрос о влиянии униполярного коронного разряда на поверхностные свойства ЦБМ, покрытых КР или ПЛА, что и явилось целью настоящей работы.

*Объекты и методы исследования*

Объектами исследования являлись образцы картона (К) марки К-125. В качестве полимерных покрытий для модификации картона применяли клейстер, состоящий из кукурузного крахмала (ГОСТ 32159–2013), глицерина (ГОСТ 6824–96) и воды (К+КР), и 3 %-й раствор ПЛА (фирма «Sigma Aldrich») в хлороформе (ГОСТ 20015–88) (К+ПЛА). В промышленности нанесение термопластичных полимеров осуществляют из расплава, но в лабораторных условиях это неприемлемо из-за отсутствия соответствующего оборудования, поэтому нанесение ПЛА покрытия проводили из раствора. Удельный расход КР составил 6,5 г/м$^2$, ПЛА – 5,0 г/м$^2$.

Краевой угол смачивания Θ определяли на катетометре КМ-8 с измерительной ячейкой, используя метод сидящей капли, которую наносили при помощи микрошприца (рис. 1). Для воспроизводимости опытов на образцы картона наносили не менее 5 капель. При расчете поверхностных свойств измеряли ширину основания $l$ и высоту $h$ капли. О свободной поверхностной энер-

гии картона с полимерным покрытием судили по углу Θ образцов, используя методику [7] при нанесении следующих жидкостей: вода, глицерин, раствор $K_2CO_3$, формамид, диметилсульфоксид (ДМСО), этиленгликоль.

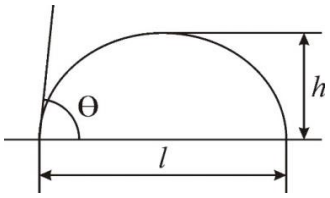



Рис. 1. Схема измерения краевого угла смачивания
Fig. 1. Scheme for measuring the contact angle

Оценку влияния обработки картона полилактидным или крахмальным покрытиями на процессы впитываемости при полном погружении образцов проводили по ГОСТ 13648.5–78. Для этого образцы картона предварительно помещали в сушильный шкаф на 10 мин при температуре 90 °С, измеряли массу. Далее их переносили в ванну с водой, выдерживая там в течение 1 мин, затем извлекали пинцетом и, давая стечь лишней жидкости, через 1 мин измеряли массу после погружения в воду. Впитываемость рассчитывали согласно следующей формуле:

$$G_{\text{П.П}} = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} 100\ \%, \qquad (1)$$

где $G_{\text{П.П}}$ – впитываемость при полном погружении; $m_1$ – масса воздушно-сухого образца, г; $m_2$ – масса образца после извлечения из жидкости, г.

Влияние обработки картона полилактидным или крахмальным покрытиями на процессы впитываемости проводили капельным способом согласно ГОСТ 12603–67. Каплю жидкости наносили на картон с полимерным покрытием, обработанный коронным разрядом, и засекали время, по истечении которого пропадал блеск жидкости.

При помощи генератора высокого напряжения, присоединенного к ячейке, на коронирующий электрод которой подается напряжение 30 кВ отрицательной полярности (рис. 2), обрабатывали образцы картона в поле униполярного (отрицательного) коронарного разряда картон без покрытия (К+ЭЛ); картон с крахмальным покрытием (К+КР+ЭЛ); картон с полилактидным покрытием (К+ПЛА+ЭЛ).

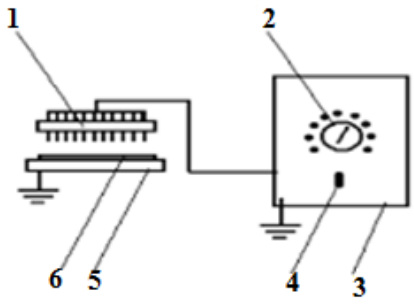



Рис. 2. Схема коронирующей установки: 1 – многоигольчатый коронирующий электрод; 2 – регулятор подаваемого напряжения; 3 – генератор высокого напряжения; 4 – тумблер включения генератора; 5 – нижний электрод; 6 – образец
Fig. 2. Scheme of the corona device: 1 – multipin corona electrode; 2 – impressed voltage regulator; 3 – high voltage generator; 4 – generator toggle switch; 5 – bottom electrode, 6 – sample

Образцы картона предварительно термостатировали при температуре 90...100 °С. Далее их помещали в коронирующую ячейку с электродом, где и проводили поляризацию. Расстояние между образцами и коронирующим электродом – 2 см.

Измерения электретных характеристик (потенциал поверхности $V_э$, кВ; напряженность электростатического поля $E$, кВ/м; эффективная поверхностная плотность электрических зарядов $\sigma_{эф}$, мк·Кл/м$^2$) проводили на приборе ИПЭП-1.

*Результаты исследования и их обсуждение*

При изучении краевого угла смачивания Θ водой исходного картона и картона с полимерным покрытием было обнаружено его изменение с 85,0° для исходного картона до 56,2° для картона с крахмальным покрытием и до 117,7° для картона с ПЛА-покрытием. Это может свидетельствовать об увеличении гидрофобности картона, модифицированного ПЛА и, как следствие, о повышении его защиты от влаги.

Влияние полимерных покрытий на поверхностные свойства картона оценивали по краевому углу смачивания. Краевой угол смачивания исходного и электретированного образцов картона определяли по воде, глицерину и раствору $K_2CO_3$, поскольку остальные заявленные жидкости впитываются его поверхностью.

Нанесенное ПЛА-покрытие дополнительно удерживает на поверхности материала капли ДМСО, формамида, этиленгликоля.

Расчеты показали, что свободная поверхностная энергия картона $\gamma_К$ составляет 120,4 мН/м. При нанесении на него крахмального покрытия значительных изменений не происходило ($\gamma_{К+Кр}$ = 124,6 мН/м), поскольку при производстве картона используется крахмал.

При нанесении ПЛА-покрытия свободная поверхностная энергия $\gamma_{К+ПЛА}$ = 75,3 мН/м. Установлено, что обработка ЦБМ в поле постоянного коронного разряда снижает их поверхностную энергию на 20...25 %. Подобное действие униполярного коронного разряда наблюдали ранее для полимерных материалов [21, 22].

Стабильность сохранения заряда в ЦБМ оценивали, измеряя параметры электростатического поля. Низкие значения электретных характеристик (табл. 1) обусловлены проникновением носителей заряда в объем диэлектрика и его высвобождением из объема к поверхности диэлектрика в ходе релаксации.

Таблица 1

**Электретные характеристики картона**

| Характеристика | К+ЭЛ | К+КР+ЭЛ | К+ПЛА+ЭЛ |
|---|---|---|---|
| $V_э$, кВт | 0,162 | 0,046 | 0,414 |
| $E$, кВ/м | 20,8 | 13,5 | 63,9 |
| $\sigma_{эф}$, мкКл/м$^2$ | 0,169 | 0,110 | 0,565 |

Одним из способов оценки гидрофобности ЦБМ является определение впитываемости при полном погружении и капельным способом. Исследование впитываемости показало, что результаты, полученные капельным способом, позволяют проанализировать влияние модификации картона на поверх-

ность листа, а полученные при полном погружении – влияние полимерных покрытий на свойства материала в объеме (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты определения впитываемости модифицированного картона при полном погружении $G_{П.П}$ и капельным способом**

| Образец | Средняя впитываемость при полном погружении $G_{П.П}$, % | Средняя продолжительность капельной впитываемости, мин |
|---|---|---|
| Картон | 83,6 | 31,0 |
| К+ЭЛ | 68,4 | 40,0 |
| К+КР | 89,0 | 21,8 |
| К+КР+ЭЛ | 72,8 | 28,4 |
| К+ПЛА | 49,3 | Не впитывается |
| К+ПЛА+ЭЛ | 47,9 | Не впитывается |

Как видно из табл. 2, впитываемость картона при полном погружении составила 83,6 %. При его обработке в униполярном коронном разряде происходит снижение впитываемости примерно в 1,2 раза. Это связано с экранированием заряда молекулами воды. При нанесении крахмального покрытия впитываемость незначительно увеличивается (89,0 %). Это обусловлено протеканием одновременно нескольких процессов: активного смачивания крахмальной поверхности водой и набухания крахмальных зерен на поверхности. Обработка картона с крахмальным покрытием в коронном разряде также позволяет снизить впитываемость примерно в 1,2 раза.

При нанесении ПЛА покрытия происходит значительное снижение впитываемости исходного картона (примерно в 1,7 раза), что указывает на гидрофобизацию поверхности. Это вполне логично, так как нанесение ПЛА препятствует проникновению влаги в толщу листа. Действие коронного разряда практически не изменяет впитываемость картона с ПЛА покрытием, так как ПЛА при данных условиях обработки практически не способен поляризоваться [5, 10, 11, 14]. В литературе описаны методы повышения электретных свойств ПЛА с помощью регулирования степени его кристалличности, введения дисперсного наполнителя [12, 13]. В дальнейшем для достижения большего влияния коронного разряда на поверхностные свойства картона, покрытого ПЛА, планируется изучение применимости этих методов.

Измерения впитываемости исследуемых материалов капельным способом подтверждают результаты впитываемости при полном погружении. Продолжительность впитываемости исходного картона составляет 31,0 мин, при нанесении крахмального покрытия она снижается до 28,4 мин. Обработка коронным разрядом повышает примерно в 1,3 раза продолжительность впитываемости как исходного картона, так и картона с крахмальным покрытием.

ПЛА не впитывает воду, поэтому нанесение этого полимера предотвращает попадание влаги в целлюлозно-бумажный материал со стороны данного покрытия.

## *Заключение*

Установлено, что при нанесении биоразлаемых полимеров на картон происходит изменение свободной поверхностной энергии: при нанесении полилактидного покрытия она уменьшается примерно на 37 %, а при нанесении

крахмального покрытия – незначительно увеличивается (около 3 %). При нанесении полилактидного покрытия впитываемость картона при полном погружении уменьшается примерно в 1,7 раза, нанесение крахмального покрытия незначительно увеличивает эту характеристику (около 6 %). Аналогичные зависимости наблюдались при изучении капельной впитываемости картона: полилактидное покрытие предотвращало впитываемость капли воды, а продолжительность впитываемости картона при обработке крахмальным покрытием уменьшалась.

При обработке постоянным коронным разрядом исследуемых картона и картона, модифицированного крахмалом или полилактидом, поверхностная энергия снижается в среднем на 20...25 %. Это приводит к тому, что впитываемость модифицированного картона при полном погружении меньше, чем у исходного картона, а продолжительность впитываемости капли воды больше примерно в 1,3 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Васильева Н.Г.* Биоразлагаемые полимеры // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. № 22. С. 156–157. [Vasil'yeva N.G. Biodegradable Polymers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, no. 22, pp. 156–157].

2. *Губанов Л.Н., Зверева А.Ю., Зверева В.И.* Переработка и утилизация отходов упаковочных материалов. Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. 121 с. [Gubanov L.N., Zvereva A.Yu., Zvereva V.I. *Waste Recycling and Disposal of Packaging Materials*. Nizhny Novgorod, NNGASU Publ., 2015. 121 p.].

3. *Карпунин И.И., Кузьмич В.В., Балабанова Т.Ф.* Классификация биологически разлагаемых полимеров // Наука и техника. 2015. № 5. С. 53–59. [Karpunin I.I., Kuz'mich V.V., Balabanova T.F. Classification of Biodegradable Polymers. *Nauka i tekhnika* [Science & Technique], 2015, no. 5, pp. 53–59].

4. *Мусина Л.Р., Галиханов М.Ф.* Влияние электретирования на сорбционные и фильтрующие свойства фильтровальной бумаги // Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 155–161. [Musina L.R., Galikhanov M.F. The Effect of Corona Charging on Sorption and Filtering Properties of the Filter Paper. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2017, no. 2, pp. 155–161]. DOI: 10.14258/jcprm.2017021782

5. *Муслимова А.А., Виранева А.П., Йовчева Т.А., Галиханов М.Ф.* Изучение электретных свойств короноэлектретов на основе полилактида // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. № 10. С. 128–130. [Muslimova A.A., Viraneva A.P., Yovcheva T.A., Galikhanov M.F. Study of Electret Properties of Coronaelectrets Based on Polylactide. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2012, no. 10(15), pp. 128–130].

6. *Ольхов А.А., Иорданский А.Л., Заиков Г.Е.* Биопластики на основе термопластов // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 10: Инновационная деятельность. 2014. № 3(12). С. 84–92. [Olkhov A.A., Iordanskiy A.L., Zaikov G.E. Bioplastics Based on Thermoplastics. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 10. Innovatsionnaya deyatel'nost'* [Science Journal of Volgograd State University. Technology and innovations], 2014, no. 3(10), pp. 84–92]. DOI: 10.15688/jvolsu10.2014.3.10

7. *Старостина И.А., Стоянов О.В.* Кислотно-основные взаимодействия и адгезия в металл-полимерных системах. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. 200 с. [Starostina I.A., Stoyanov O.V. Acid-Base Interactions and Adhesion in Metal-Polymer Systems. Kazan, KSTU Publ., 2010. 200 p.].

8. *Фляте Д.М.* Свойства бумаги. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 680 с. [Flyate D.M. *Paper Properties*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 680 p.].

9. Frostling H., Hoff A., Jacobsson S., Pfäffli P., Vainiotalo S., Zitting A. Analytical, Occupational and Toxicologic Aspects of the Degradation Products of Polypropylene Plastics. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1984, vol. 10(3), pp. 163–169. DOI: 10.5271/sjweh.2347

10. Gencheva E.A., Yovcheva T.A., Marudova M.G., Viraneva A.P., Bodurov I.P., Mekishev G.A., Sainov S.H. Formation and Investigation of Corona Charged Films from Polylactic Acid. *AIP Conference Proceedings*, 2010, vol. 1203, iss. 1, pp. 495–500. DOI: 10.1063/1.3322494

11. Gilmutdinova A.M., Galikhanov M.F., Nazarov N.G., Guzhova A.A., Khayrullin R.Z., Huziakhmetov R.H., Yovcheva T.A., Viraneva A.P. Increase of Value and Stability of Electret Characteristics of Polylactide by Magnesium Oxide Modification. *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1886, iss. 1, art. 020092. DOI: 10.1063/1.5002989

12. Guzhova A.A., Galikhanov M.F., Gorokhovatsky Yu.A., Temnov D.E., Fomicheva E.E., Karulina E.A., Yovcheva T.A. Improvement of Polylactic Acid Electret Properties by Addition of Fine Barium Titanate. *Journal of Electrostatics*, 2016, vol. 79, pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.elstat.2015.11.002

13. Guzhova A., Yovcheva T., Viraneva A. Study of Polylactic Acid Corona Electrets. *Bulgarian Chemical Communications*, 2015, vol. 47, special iss. B, pp. 115–120.

14. Kanie O., Ishikawa H., Ohta S., Kitaoka T., Tanaka H. Study on Characteristics of Paper Laminated with Biodegradable Plastics, (1): Burial Test in Soil. *Journal of the Faculty Agriculture, Kyushu University*, 2002, vol. 47, no. 1, pp. 89–96.

15. Kanie O., Tanaka H., Mayumi A., Kitaoka T., Wariishi H. Composite Sheets with Biodegradable Polymers and Paper, the Effect of Paper Strengthening Agents on Strength Enhancement, and an Evaluation of Biodegradability. *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, vol. 96, iss. 3, pp. 861–866. DOI: 10.1002/app.21523

16. Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A. *Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications*. Norwell, Kluwer Academic Publishers, 2000. 281 p. DOI: 10.1007/978-1-4615-4455-5

17. Mayumi A., Kanie O., Wariishi H., Kitaoka T., Tanaka H. Study on Characteristics of Paper Laminated with Biodegradable Plastics, (2): Analytical Characterization on Chemical and Biological Degradation. *Journal of the Faculty Agriculture, Kyushu University*, 2003, vol. 48, no. 1-2, pp. 85–95.

18. Mayumi A., Kanie O., Wariishi H., Kitaoka T., Tanaka H. Study on Characteristics of Paper Laminated with Biodegradable Plastics, (3): Elemental and Morphological Analyses of Polylactide Deterioration. *Journal of the Faculty Agriculture, Kyushu University*, 2003, vol. 48, no. 1-2, pp. 87–106.

19. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. Effect of Unipolar Corona Discharges on Properties of Pulp-and-Paper Materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2015, vol. 51, iss. 2, pp. 138–142. DOI: 10.3103/S1068375515020118

20. Sessler G.H., Gerhard-Multhaupt R., Broadhurst M.G., Bauer S. *Electrets*. In 2 vol. Morgan Hill, CA, Laplacian Press, 1998/1999. 472/360 p.

21. Viraneva A., Yovcheva T., Mekishev G. Pressure Effect on the Polymer Electret Films. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2013, vol. 20, iss. 5, pp. 1882–1886. DOI: 10.1109/TDEI.2013.6633720

22. Vlaeva I., Yovcheva T., Viraneva A., Kitova S., Exner G., Guzhova A., Galikhanov M. Contact Angle Analysis of Corona Treated Polypropylene Films. *Journal of Physics: Conference Series*, 2012, vol. 398, art. 012054. DOI: 10.1088/1742-6596/398/1/012054

23. Yovcheva T. *Corona Charging of Synthetic Polymers*. New York, Nova Science Publishers, 2010. 60 p.

## SURFACE PROPERTIES OF MODIFIED CARDBOARD*

***S.I. Basirova,*** *Postgraduate Student; ORCID: 0000-0001-5409-6704*
***M.F. Galikhanov,*** *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: P-2778-2015, ORCID: 0000-0001-5647-1854*
***L.R. Galeeva,*** *Candidate of Engineering; Assoc. Prof.; ResearcherID: AAE-8448-2019, ORCID: 0000-0001-9004-4549*
Kazan National Research Technological University, ul. Karla Marksa, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation; e-mail: basyrova.sara@mail.ru, mgalikhanov@yandex.ru

The influence of cardboard modification on the complex of its surface properties is studied. The cardboard surface properties were calculated based on the contact angle values of five different liquids. The samples absorbency was determined by the methods of full immersion and drop infusion. The effect of cardboard processing with polylactide and starch coatings on its wetting ability and absorbency was assessed. It was found that free surface energy changes when applying biodegradable polymers to cardboard; it decreases by approximately 37 % when applying polylactide coating, and it slightly increases (by approximately 3 %) when applying starch coating. The absorbency of completely immersed cardboard decreases in approximately 1.7 times when applying polylactide coating; this cardboard characteristic slightly increases (by approximately 6 %) when applying starch coating. Similar dependences were observed in the study of dripping absorbency of cardboard. Polylactide coating prevented the absorption of a drop of water, and the absorption time of the cardboard decreased during processing with starch coating. The changeability of properties of pulp and paper materials with the use of a unipolar corona discharge is shown. Imparting an electretretic state to pulp and paper materials was evaluated by the surface potential values, electrostatic field intensity, and effective surface electric charge density. The surface energy decreases by 20–25 % on average while processing with the permanent corona discharge of the initial samples of cardboard and cardboard modified with starch or polylactide. As a result, the absorbency of the modified cardboard with full immersion grows less than that of the original cardboard, and the absorption time of a drop of water increases in approximately 1.3 times.

***For citation:*** Basirova S.I., Galikhanov M.F., Galeeva L.R. Surface Properties of Modified Cardboard. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 233–240. DOI: 10.17238/ issn0536-1036.2019.6.233

*Keywords:* cardboard, biodegradable polymers, composite materials, corona discharge, wetting, surface energy.

Поступила 25.07.19 / Received on July 25, 2019

*The article was prepared based on the proceedings of the 5th International Scientific and Technical Conference “The Issues in Mechanics of Pulp-and-Paper Materials” (Arkhangelsk, September 11–14, 2019).

УДК 665.520:582.477
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.241

# СОСТАВ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (*Juniperus communis* L.) ПРИАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

***Н.В. Селиванова, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.;*** *ResearcherID: AAA-5681-2019, ORCID: 0000-0002-3393-0664*
***Н.А. Самсонова, мл. науч. сотр.;*** *ORCID: 0000-0003-4422-7453*
***М.А. Гусакова, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.;*** *ResearcherID: AAB-5528-2019, ORCID: 0000-0002-2937-2604*
***К.Г. Боголицын, д-р хим. наук, гл. науч. сотр., проф.;*** *ResearcherID: AAA-6432-2019, ORCID: 0000-0002-4055-0483*
***М.В. Богданов, канд. хим. наук, ст. науч. сотр., доц.;*** *ResearcherID: AAE-8930-2019, ORCID: 0000-0001-5414-5588*
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: snatalia-arh@yandex.ru, gavrilova.iepn@yandex.ru, mariya_gusakova@mail.ru, k.bogolitsin@narfu.ru, bmvmicha@mail.ru

Можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.) широко распространен на Европейском Севере. Однако можжевельник малоизучен с точки зрения исследования зависимости содержания отдельных биологически активных веществ от видовой принадлежности рода растения и природно-климатических условий его произрастания. Представлены результаты изучения экстрактивных веществ можжевельника, произрастающего на территории Архангельской области, растворимых в петролейном эфире, этиловом спирте и горячей воде. Состав летучих экстрактивных веществ определяли методом хроматомасс-спектрометрии. Установлено, что в спиртовом экстракте древесной зелени *Juniperus communis* L. в основном преобладают соединения терпенового ряда: α-пинен (14,14 %), изоцемброл (9,39 %), $\Delta^3$-карен (2,64 %), β-фелландрен (2,02 %). Изучение динамики накопления эфирного масла в древесной зелени можжевельника обыкновенного в различные месяцы года показало, что его количество колеблется в зависимости от сезонности (2,3...3,3 % от массы абс. сухого сырья). Основу эфирного масла составляют кислородсодержащие производные терпенов: *t*-мууролол (11,11 %), спатуленол (5,13 %), α-кадинол (3,02 %), изоцемброл (2,66 %), неролидол (2,60 %). Проведенные исследования пигментного комплекса древесной зелени выявили, что в условиях северной тайги для можжевельника обыкновенного характерны относительно невысокие количественные показатели каротиноидов, хлорофиллов *a* и *b*.

***Для цитирования:*** Селиванова Н.В., Самсонова Н.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., Богданов М.В. Состав экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) приарктических территорий // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 241–254. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.241
***Финансирование***: Исследования выполнены при финансовой поддержке ФАНО России (тема №АААА-А18-118012390231-9) и проекта УрО РАН №АААА-А18-118012390228-9 с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» (САФУ) и ЦКП НО «КТ РФ в области экологической безопасности Арктики» (ФГБУН ФИЦКИА РАН).

*Ключевые слова:* можжевельник обыкновенный, древесная зелень, экстрактивные вещества, эфирное масло, хроматомасс-спектрометрия.

## *Введение*

В настоящее время Россия является одним из лидеров исследования и освоения Арктики. Известно, что растения, произрастающие в экстремальных условиях, могут обладать особыми физико-химическими и биологическими свойствами. Флора Северо-Западного региона России как по разнообразию, так и по численности видов имеет свои характерные особенности и представляет интерес для получения ценных продуктов. Анализ природно-ландшафтного состояния и биоразнообразия в арктическом и приарктическом регионе (Архангельская область) позволяет нам выделить специфический биообъект – можжевельник обыкновенный (*Juníperus commúnis* L.). Препараты, получаемые из древесной зелени можжевельника широко применяются в медицине благодаря значительному содержанию в хвое эфирных масел и биологически активных веществ, которые имеют широкий спектр фармакологического действия [20, 24, 25]. Он оказывает оздоровительное влияние на лесную среду, выделяя больше фитонцидов, чем другие хвойные, и формирует микроклимат приземного слоя атмосферы [1, 7, 19].

Ранее на территории Архангельской области были проведены комплексные исследования можжевельника обыкновенного, произрастающего в подлеске естественных насаждений. Получены данные о биометрических показателях, возрастной структуре, густоте, закономерностях роста, формовом разнообразии вида и морфологическом строении древесины [1, 21, 22, 28]. Однако анализ литературных источников показал недостаточность сведений о химическом составе древесной зелени можжевельника арктических территорий.

Основу древесной зелени составляют живые клетки, богатые низкомолекулярными компонентами – экстрактивными веществами. Обладая высокой физиологической активностью, экстрактивные вещества, в состав которых входит большое число соединений различных классов: алифатические углеводороды, спирты и кислоты, терпеновые соединения, стерины, полифенолы, танниды, полисахариды и т. д., играют роль запасных питательных веществ, а также выполняют защитные функции, обеспечивая устойчивость и пластичность фотосинтетического аппарата, а также нормальную жизнедеятельность растения в целом [12].

Состав и количество экстрактивных веществ во многом зависит от вида растения, места и условий произрастания (температурный режим, количество осадков, продолжительность вегетационного периода и т. д.), времени отбора [4, 11, 17, 23, 27].

Цель исследования – изучение особенностей химического состава экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного, произрастающего на субарктических территориях.

## *Объекты и методы исследования*

На основе анализа ландшафтно-геологических факторов нами была выбрана тестовая площадка (географические координаты: 64°43' с. ш., 40°48' в. д.),

которая находится вне зоны техногенного воздействия. Участок представляет собой опушку естественно смешанного разновозрастного сосново-елово-березового древостоя с редкой примесью ивы козьей (*Salix caprea*) в древесном ярусе. Тип леса – сосняк черничный. Исходное сырье (лапка можжевельника обыкновенного) заготавливали в естественных биоценозах Приморского района Архангельской области в первую неделю каждого месяца с апреля по декабрь. Отбор и усреднение проб древесной зелени можжевельника проводили согласно ГОСТ 21769–84 [5]. Перед анализом сырье измельчали до 2...3 мм на лабораторной мельнице ЛМ 2001.

Компонентный состав древесной зелени определяли по стандартным методикам [8]; содержание минеральных веществ – методом сжигания при температуре 600 °С; жирорастворимых – методом экстракции петролейным эфиром в аппарате Сокслета и последующей отгонкой растворителя; водорастворимых – экстрагированием при кипячении в установке с обратным холодильником и количественным определением высушенного экстракта; экстрагируемых этанолом веществ – методом настаивания при температуре 45...50 °С в течение 6…7 ч. Воск выделяли отстаиванием спиртовых экстрактов в течение 16 ч при 4 °С. Массовую долю минеральных, экстрактивных, водо- и жирорастворимых веществ, а также воска рассчитывали с учетом влажности древесной зелени.

Количество хлорофиллов *a*, *b* и сумму каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом на спектрометре UV-1800 («Shimadzu», Япония) при длинах волн 665, 649 и 440,5 нм. В качестве растворителя использовали 80 %-й ацетон [18]. Концентрацию пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и сумму каротиноидов) рассчитывали по формулам Вернона.

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре UV-1800 (в качестве растворителя использовали 1 %-й раствор соляной кислоты [9]), аскорбиновой кислоты в древесной зелени – спектральным методом на спектрофотометре UV-1800 с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенола (краска Тильманса) согласно [3].

Групповой состав смолистых веществ древесной зелени находили, применяя общепринятую кислотно-щелочную схему разделения экстрактивных веществ [8, 13]. Древесную зелень экстрагировали этоксиэтаном. Полученный экстракт фракционировали, разделяя на свободные кислоты и нейтральные вещества. Нейтральные вещества омыляли методом щелочного гидролиза в этаноле до солей кислот сложных эфиров и неомыляемых веществ. Соли кислот отделяли от неомыляемых веществ, подкисляли и получали связанные в сложных эфирах кислоты. Качественный состав и содержание жирных и смоляных кислот в экстракте в виде метиловых эфиров определяли методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) в системе гексан – эфир (1 : 1) при щелочной реакции среды на приборе Agilent Technologies 7820A GC System Maestro. Внутренний стандарт–С19:0, нонадекановая кислота. Для хроматографирования использовали аналитическую капиллярную колонку HP-INNOWAX (длина – 60 м, внутренний диаметр – 0,25 мм, толщина пленки – 0,50 μm); газ носитель – азот; пламенно-ионизационный детектор. Начальная температура – 80 °С, конечная – 250 °С. Скорость подъема температуры – 2,5 °С /мин, скорость газа-носителя в колонке – 2 мл/мин. Поток воздуха 300 мл/мин, водорода – 30 мл/мин. Продолжительность анализа – 120 мин. Наличие кислот в пробе подтверждали на хроматомасс-спектрометре

GC-MS QP2010 Plus («Shimadzu», Япония). Анализ проводили с использованием колонки Rtx-5MS (длина колонки 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм). Условия хроматографирования: изотермический режим при температуре 40 °С в течение 5 мин, программированный подъем температуры до 250 °С со скоростью 100 °С/мин и выдержкой при конечной температуре 20 мин. Температура испарителя – 230 °С, ионизационной камеры – 230 °С, энергия ионизации – 70 эВ.

Компоненты выделенных фракций идентифицировали, сравнивая полученные масс-спектры метиловых эфиров кислот и известных соединений из банков данных NIST 2011 и Wiley 2010. Компоненты, для которых степень совпадения масс-спектра с библиотечными данными составляла менее 80 %, считались не идентифицированными. Дополнительным параметром, принимаемым во внимание при идентификации соединений с близкими спектрами, служила величина индекса удерживания.

Количественное определение эфирного масла из древесной зелени можжевельника проводили методом гидродистилляции в аппарате Гинзбурга. Выход эфирного масла выражали в процентах по отношению к массе сухого сырья [8]. Для идентификации индивидуальных соединений использовали хроматомасс-спектрометр GC-MS QP-2010Ultra («Shimadzu», Япония).

*Результаты исследования и их обсуждение*

Известно, что клетки древесной зелени синтезируют значительное количество экстрактивных веществ (компоненты эфирных масел, хлорофиллы, каротиноиды, многие аминокислоты, витамины, фитогормоны и др.), которые в том числе обладают биологической активностью [12]. Содержание и состав экстрактивных веществ древесной зелени различных видов можжевельника варьируются в широком диапазоне. По методам выделения экстрактивные вещества делятся на водо-, жиро- и спирторастворимые, отгоняемые с водяным паром соединения и минеральные вещества [8].

Полученные экспериментальные данные о количественном содержании основных компонентов в древесной зелени можжевельника обыкновенного представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Химический состав древесной зелени можжевельника обыкновенного**

| Показатель | Значение |
|---|---|
| Экстрагируемые вещества*, %: | |
| этиловым спиртом | 27,1...33,6 |
| горячей водой | 26,0...29,3 |
| петролейным эфиром | 8,6...11,4 |
| Эфирное масло*, % | 2,2...3,3 |
| Хлорофилл, мг/г: | |
| *a* | 0,49...0,96 |
| *b* | 0,18...0,59 |
| Каротиноиды, мг/г | 0,16...0,31 |
| Антоцианы*, % | 1,12...6,48 |
| Воск*, % | 1,5...4,5 |
| Минеральные компоненты (зола)*, % | 1,9...4,1 |
| Аскорбиновая кислота, мг% | 33,1...123,2 |

*Расчет на абс. сухую навеску.

Из полученных результатов следует, что содержание водорастворимых веществ в древесной зелени можжевельника обыкновенного составляет 26,0...29,6 %, жирорастворимых – 8,6...11,4 %, экстрактивных, извлекаемых этиловым спиртом, – 27,1...33,6 %.

В водных экстрактах была определена аскорбиновая кислота, содержание которой колеблется в пределах 33,1...123,2 мг%. Необходимо отметить, что содержание аскорбиновой кислоты у растений можжевельника, произрастающего в субарктическом регионе, в 2 раза ниже, чем у ели и сосны, произрастающих там же: 87,8 и 210,7 мг% соответственно [15].

Содержание хлорофиллов *a* и *b* составило 0,49...0,96 мг/г сырой массы и 0,18...0,59 мг/г сырой массы соответственно, каротиноидов – 0,16...0,31 мг/г сырой массы, что согласуется с результатами исследования пигментного комплекса в условиях северной тайги (для можжевельника обыкновенного содержание хлорофилла *a* и *b* – соответственно 0,87...1,26 и 0,39...0,59 мг/г сырой массы, каротиноидов – 0,29...0,40 мг/г сырой массы) [16]. Согласно исследованиям Т.Г. Масловой и И.А. Поповой, у растений, произрастающих в крайне суровых условиях, низкое содержание фотосинтетических пигментов связано с действием низкой температуры или бедностью почв [26].

Одним из основных методов выделения экстрактивных веществ является экстракция различными растворителями. При выборе экстрагента всегда руководствуются тем, что он должен быть доступен и извлекать как можно большее количество экстрактивных веществ. В основном для этой цели используется этанол, так как он хорошо извлекает такие экстрактивные вещества, как хлорофиллы, каротиноиды, витамины эфирные масла, дубильные вещества и др. [2, 8, 10, 12]. Из-за термолабильности экстрактивных веществ древесной зелени экстракцию проводили этиловым спиртом методом настаивания при температуре 45...50 °С. Состав полученного спиртового экстракта определяли методом хроматомасс-спектрометрии.

В табл. 2 представлен основной состав спиртового экстракта древесной зелени *Juníperus commúnis* L.

Таблица 2

**Основной состав спиртового экстракта древесной зелени можжевельника обыкновенного**

| Соединение | Содержание, % (отн.) от суммы всех компонентов |
|---|---|
| Монотерпены: | |
| α-пинен | 14,14 |
| трициклен | 0,04 |
| камфен | 0,11 |
| β-пинен | 0,52 |
| $\Delta^3$-карен | 2,64 |
| β-мирцен | 0,78 |
| β-фелландрен | 2,07 |
| ***Сумма*** | **20,30** |
| Сесквитерпены: | |
| *транс*-кариофиллен | 0,44 |
| α-гумулен | 0,46 |
| гермакрен-*D* | 2,05 |
| β-элемен | 6,16 |

*Окончание табл. 2*

| Соединение | Содержание, % (отн.) от суммы всех компонентов |
|---|---|
| неролидол | 0,24 |
| α-гуайен | 0,15 |
| α-копаен | 0,10 |
| α-цедрен | 6,32 |
| веридифлорол | 0,13 |
| ***Сумма*** | **16,06** |
| Дитерпены: | |
| изоцемброл | 9,39 |
| андрографолид | 0,69 |
| 13-эпиманоол | 1,67 |
| ***Сумма*** | **11,75** |
| Ненасыщенные жирные кислоты и их эфиры: | |
| линолевая кислота | 0,04 |
| линоленовая кислота | 0,04 |
| пальмитиновая кислота | 0,07 |
| дибутиловый эфир себациновой кислоты | 0,05 |

В спиртовом экстракте преобладают соединения терпенового ряда. Значительную долю монотерпенов составляют α-пинен, $\Delta^3$-карен, β-фелландрен. Превалирующими компонентами сесквитерпенов, на которые приходится 16 % от общей суммы компонентов, являются β-элемен, α-цедрен, гермакрен-*D*. Необходимо отметить повышенное содержание дитерпенового спирта – изоцемброла – 9,39 %. Это вещество, выделенное ранее из кедра сибирского, обладает свойствами гормонального регулятора роста растений. Из изоцемброла получены производные, имеющие высокую цитотоксическую активность [14].

Был изучен групповой состав смолистых веществ, извлеченных этоксиэтаном из древесной зелени по кислотно-щелочной схеме. Состав выделенных фракций характеризовали методом ГЖХ, совмещенной с хроматомасс-спектрометрией.

Исследование компонентного состава свободных кислот показало, что они представлены преимущественно $C_{16}$–$C_{20}$ одноосновными предельными и непредельными жирными кислотами, доля которых составляет 55,1 и 44,9 % от массы фракции соответственно. Из предельных кислот были обнаружены пальмитиновая, стеариновая и арахиновая кислоты, из непредельных – линолевая и линоленовая кислоты (рис. 1).

Аналогичная тенденция отмечается и в составе связанных жирных кислот с преобладанием в их числе пальмитиновой кислоты. В составе связанных кислот были обнаружены как предельные (пальмитиновая, стеариновая), так и непредельные (олеиновая, линолевая и линоленовая) жирные кислоты, процент которых составляет 44,0 и 56,0 % от массы фракции соответственно. Из смоляных кислот определены пимаровая – 49,5 %, сандракопимаровая – 17,0 %, палюстровая и левопимаровая – 26,2 %, а также метиловый эфир изодекстропимаровой кислоты – 7,3 % от массы фракции.

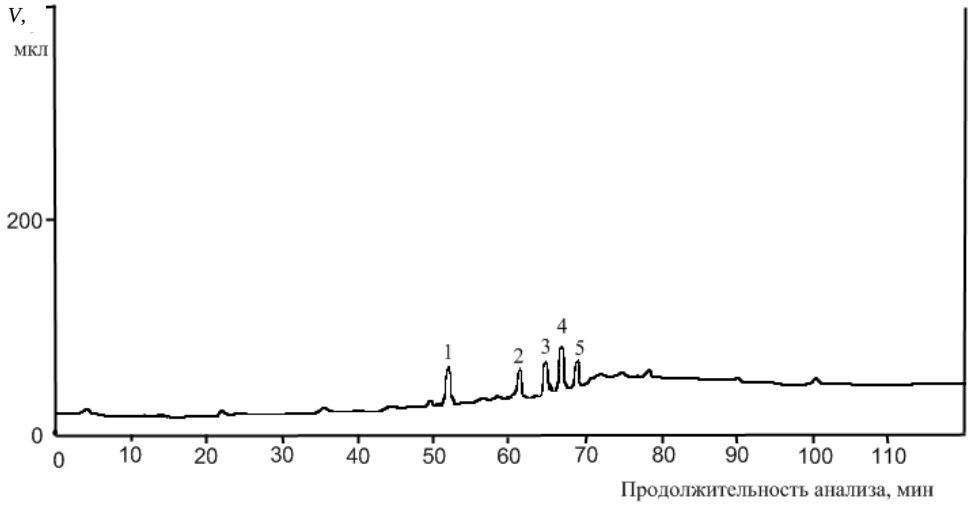



Рис. 1. Хроматограмма фракции свободных жирных кислот, выделенных из древесной зелени можжевельника обыкновенного: 1 – пальмитиновая (С16:0); 2 – стеариновая (С18:0); 3 – арахиновая (С20:0); 4 – линолевая (С18:2); 5 – линоленовая (С18:3) кислоты

Fig.1. Chromatogram of the fraction of free fatty acids extracted from common juniper wood greenery: 1 – palmitic (C 16:0); 2 – stearic (C 18:0); 3 – arachidic (C 20:0); 4 – linoleic (C 18:2); 5 – linolenic (C 18:3) acids

Анализ состава фракции неомыляемых веществ показал, что она содержит различные терпеноиды и алифатические спирты, % от массы фракции: α-пинен – 18,5; $\Delta^3$-карен – 4,3; гермакрен-D – 11,0; гермакрен-D-4-ол – 11,4; агатадиол – 10,5; маноол – 6,8.

Одной из задач исследования являлось определение содержания и состава эфирного масла древесной зелени *Juniperus communis* L, которое является ценным биологически активным сырьем и имеет фитонцидные свойства. Эфирные масла – сложная смесь летучих душистых веществ, относящихся к различным классам органических соединений, главным образом к терпеноидам. Большая часть их монотерпены, обладающие лечебными свойствами. Кислородсодержащие соединения (спирты и фенолы) обеспечивают антисептическое действие. Важными компонентами считаются сесквитерпены, которые поддерживают устойчивость состава как фиксаторы. По выходу эфирного масла можно судить об участии его в развитии растений, о биологической ценности растений, возможности использования данного растения в качестве ресурсного источника получения эфирного масла [6, 7, 17].

Качественный и количественный состав эфирного масла можжевельника зависит от многих факторов внешней среды (влажности воздуха, освещенности кроны, плодородия почвы), а также от вида растения и от географического положения. Выход эфирных масел можжевельника и его сезонная изменчивость являются предметом изучения многих авторов. Так, по данным Н.В. Герлинг [4], выход эфирного масла можжевельника обыкновенного, произрастающего в подзоне средней тайги, составляет 0,46...0,81 %; содержание эфирных масел в хвое можжевельника казацкого – 2,60 %, сибирского –

1,80...2,10 %, даурского – 1,98 %, прибрежного – 1,15 %, твердого – 0,95 %, длиннохвойного – 1,02 %, Саржента – 1,07 % [6, 11, 17].

Эфирное масло можжевельника обыкновенного, произрастающего в Архангельской области, представляет собой подвижную жидкость светло-желтого цвета, выход его в зависимости от сезона составил 2,3...3,3 % от массы абс. сухого сырья (рис. 2).

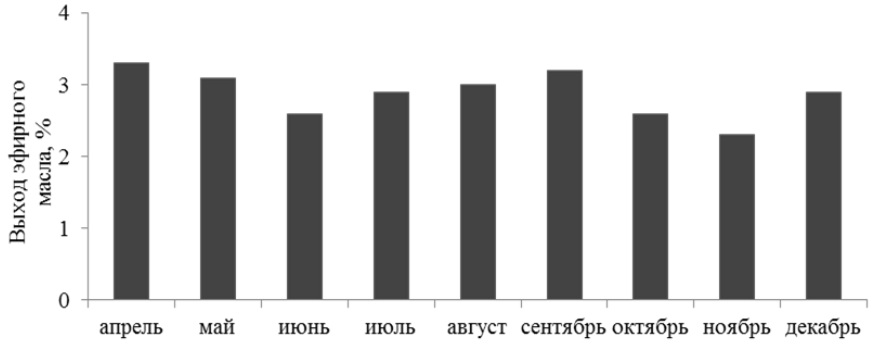



Рис. 2. Сезонная динамика выхода эфирного масла из древесной зелени можжевельника обыкновенного

Fig.2 Seasonal dynamics of essential oil release from common juniper wood greenery

Содержание эфирного масла в древесной зелени можжевельника обыкновенного изменяется в течение года и имеет 2 максимума: весной – в апреле (3,2 %) и осенью – в сентябре (3,3 % от массы сухого сырья). Снижение содержания эфирного масла наблюдается в мае–июне, что наглядно подтверждает его участие в процессах развития растений. В летние месяцы также происходит спад содержания эфирного масла при воздействии высокой температуры воздуха. С июля по сентябрь отмечено накопление масла, что можно объяснить усилением физиологических процессов в хвое и активацией обмена веществ. Повышение содержания эфирного масла в сентябре связано с завершением формирования хвои. В октябре–ноябре происходит медленный спад из-за замедления обменных процессов. Кроме того, растения, находясь в состоянии вынужденного покоя, реагируют на уменьшение светового дня.

Следует отметить, что по данным Д.К. Уваровской [17] у дальневосточных видов можжевельника наблюдается снижение содержания эфирного масла с апреля по июнь, а в осенне-зимний период – его накопление.

Для идентификации отдельных компонентов, входящих в состав эфирного масла можжевельника, методом хроматомасс-спектрометрии исследован количественный состав полученного масла (табл. 3).

Таблица 3

**Компонентный состав эфирного масла древесной зелени можжевельника обыкновенного**

| Компонент | Содержание, % (отн.) от суммы всех компонентов |
|---|---|
| Монотерпены: | |
| β-мирцен | 0,10 |
| α-пинен | 1,11 |

*Продолжение табл. 3*

| Компонент | Содержание, % (отн.) от суммы всех компонентов |
|---|---|
| β-пинен | 0,13 |
| камфен | 0,02 |
| вербенен | 0,03 |
| $\Delta^3$-карен | 0,50 |
| *о*-цимен | 0,27 |
| борнилен | 0,25 |
| β-фелландрен | 1,12 |
| ***Сумма*** | **3,53** |
| Сесквитерпены: | |
| β-элемен | 3,34 |
| гермакрен-*D* | 0,55 |
| α-гумулен | 1,12 |
| *транс*-кариофиллен | 0,60 |
| лонгифолен | 1,05 |
| γ-мууролен | 1,37 |
| α-мууролен | 1,27 |
| β-селинен | 0,99 |
| калакорен | 0,66 |
| аллоаромадендрен | 0,24 |
| α-копайен | 0,12 |
| γ-кадинен | 1,42 |
| Δ-кадинен | 3,05 |
| α-кадинен | 0,35 |
| γ-эйдесмол | 0,91 |
| ***Сумма*** | **17,18** |
| Дитерпены: | |
| цебрен | 0,50 |
| изоцемброл | 2,05 |
| андрографолид | 0,17 |
| ***Сумма*** | **2,72** |
| Кислородсодержащие производные терпенов: | |
| туйол | 0,09 |
| неролидол | 2,60 |
| элемол | 1,28 |
| α-терпинеол | 2,44 |
| терпинен-4-*ol* | 0,82 |
| α-кадинол | 3,02 |
| δ-кадинол | 2,17 |
| кубебол | 1,17 |
| *t*-мууролол | 11,11 |
| вербенол | 0,34 |
| борнилацетат | 1,48 |
| миртенол | 0,19 |
| миртенилацетат | 2,01 |
| изоцемброл | 2,66 |
| веридифлорол | 2,20 |
| гумулен оксид | 1,46 |
| линалоол | 0,15 |

*Окончание табл. 3*

| Компонент | Содержание, % (отн.) от суммы всех компонентов |
|---|---|
| спатуленол | 5,13 |
| эйдесмол | 0,91 |
| маноол | 1,49 |
| *d*-карвон | 0,05 |
| миртанол | 0,14 |
| α-акоренол | 0,26 |
| изоаромадендрен эпоксид | 0,42 |
| α-камфоленаль | 0,09 |
| ***Сумма*** | **43,01** |
| Одноосновные предельные карбоновые кислоты и их эфиры: | |
| миристиновая кислота | 0,65 |
| пальмитиновая кислота | 1,19 |
| 3-метилбутил-2-ениловый эфир валериановой кислоты | 0,12 |
| 3-метил- 3-метилбутиловый эфир бутановой кислоты | 0,37 |
| 2-метил-,3-метил-3-бутениловый эфир бутановой кислоты | 0,27 |
| 3-метилбутиловый эфир каприловой кислоты | 0,28 |
| бутановая кислота, 2-метиловый эфир борнила | 0,18 |
| изоамиловый эфир бутановой кислоты | 0,10 |
| ***Сумма*** | **2,98** |
| Непредельные одноосновные карбоновые кислоты: | |
| линолевая кислота | 0,24 |
| линоленовая кислота | 0,42 |
| ***Сумма*** | **0,66** |

Эфирное масло, полученное из древесной зелени можжевельника, представляет собой маслянистую прозрачную жидкость с характерным запахом. В результате исследования было установлено, что в составе эфирного масла доминируют кислородсодержащие производные терпенов (более 43 % от общей массы вещества). Основу эфирного масла составляют β-элемен, *t*-мууролол, спатуленол, α-кадинол, изоцемброл, неролидол, Δ-кадинен, α-терпинеол, веридифлорол, содержание в масле каждого компонента более 2 %. Следует отметить, что в эфирном масле обнаружены пальмитиновая (1,19 %), линолевая (0,24 %) и линоленовая (0,42 %) кислоты.

## *Заключение*

Изучение компонентного состава древесной зелени можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) является полезным с точки зрения получения знаний о синтезе и накоплении отдельных химических соединений в процессе фотосинтеза в данном растении.

Определен количественный и качественный состав экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного, произрастающего на территории Архангельской области. В ходе исследования пигментного комплекса древесной зелени установлено, что в условиях северной тайги для можжевельника обыкновенного характерны невысокие (относительно других регионов России) количественные показатели хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, аскорбиновой кислоты.

Изучение динамики накопления эфирного масла в древесной зелени можжевельника обыкновенного в различные месяцы года показало, что его количество в зависимости от сезона года колеблется от 2,3 до 3,3 % от массы сухого сырья. Можно рекомендовать организацию сбора сырья для получения эфирного масла производить в сентябре, когда отмечается его максимальное накопление.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Барзут О.С.* Эколого-географическая изменчивость можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) в лесах Архангельской области: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Архангельск, 2007. 18 с. [Barsut O.S. *Ecological and Geographical Variation of Common Juniper (Juniperus communis* L.*) in the Forests of Arkhangelsk Region*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2007. 18 p.].

2. *Васильев С.Н., Рощин В.И., Ягодин В.И., Троскина М.Ю., Аксенова Е.Г., Абиев Р.Ш.* Исследование кинетических закономерностей процесса извлечения биологически активных веществ из древесной зелени // Лесн. журн. 1994. № 5-6. С. 126–129. [Vasil'yev S.N., Roshchin V.I., Yagodin V.I., Troskina M.Yu., Aksenova E.G., Abiyev R.Sh. Study of Kinetics of Bioactive Substances Extraction from Wood Greenery. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1994, no. 5-6, pp. 126–129]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1994/1994%20%E2%84%96%205-6.pdf

3. *Воскресенская О.Л., Грошева Н.П., Скочилова Е.А.* Физиология растений. Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2008. 148 с. [Voskresenskaya O.L., Grosheva N.P., Skochilova E.A. *Plant Physiology*. Yoshkar-Ola, MarSU Publ., 2008. 148 p.].

4. *Герлинг Н.В., Пунегов В.В., Груздев И.В.* Компонентный состав эфирного масла можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) под пологом елового древостоя на европейском северо-востоке России // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 89–96. [Gerling N.V., Punegov V.V., Gruzdev I.V. Component Composition of Essential Oil Juniperus Communis (*Juniperus communis* L.) under the Canopy of Spruce Forests in the European North-East of Russia. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2016, no. 2, pp. 89–96]. DOI: 10.14258/jcprm.2016021028

5. ГОСТ 21769–84. Зелень древесная. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1984. 7 с. [GOST 21769–84. *Tree Verdure. Specifications*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1984. 7 p.].

6. *Ефремов Е.А., Зыкова И.Д., Ефремов А.А., Струкова Е.Г.* Компонентный состав эфирного масла лапки и шишкоягод можжевельника сибирского Эвенкии // Химия растительного сырья. 2011. № 2. С. 127–131. [Efremov E.A., Zykova E.D., Efremov A.A., Strukova E.G. Component Composition of Essential Oil of Siberian Juniper Boughs and Berries in Evenkia. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2011, no. 2, pp. 127–131].

7. *Кустова С.Д.* Справочник по эфирным маслам. М.: Пищевая пром-сть, 1978. 208 с. [Kustova S.D. *Handbook on Essential Oils*. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1978. 208 p.].

8. *Кутакова Н.А., Богданович Н.И., Селянина С.Б., Коптелова Е.Н., Коровина Н.В.* Лабораторный практикум по технологии биологически активных веществ и углеродных адсорбентов: в 2 ч. Ч. 2. Анализ БАВ. Архангельск: САФУ, 2015. 117 с. [Kutakova N.A. *Laboratory Workshop on Technology of Bioactive Substances and Carbon Adsorbents*. In 2 Parts. Part 2. Analysis of BAS. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 117 p.].

9. *Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В.* Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармакология. 1987. Т. 36, № 5. С. 28–29. [Murav'yeva D.A., Bubenchikova V.N., Belikov V.V. Spectrophotometric Determination of the amount of Anthocyans in the Flowers of Cornflower. *Farmakologiya*, 1987, vol. 36, no. 5, pp. 28–29].

10. *Нарчуганов А.Н., Ефремов А.А., Оффан К.Б.* Экстрактивные вещества лапки хвойных Эвенкии, извлекаемые при спиртовой обработке с использованием ультразвука // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 105–108. [Narchuganov A.N., Efremov A.A., Offan K.B. Evenkia Conifers Bough Extractives Extracted in Alcohol Treatment Using Ultrasound. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2010, no. 1, pp. 105–108].

11. *Писарев Д.И.* Фармакогностическое изучение можжевельника длиннохвойного и можжевельника казацкого: автореф. дис . … канд. фарм. наук. Пятигорск, 2005. 23 с. [Pisarev D.I. *Pharmacognostic Study of Longleaf Juniper and Savin*: Cand. Pharm. Sci. Diss. Abs. Pyatigorsk, 2005. 23 p.].

12. *Репях С.М., Чупрова Н.А., Барабаш Н.Д.* Экстрактивные вещества древесной зелени // Химия древесины. 1983. № 4. С. 62–65. [Repyakh S.M., Chuprova N.A., Barabash N.D. Extractives of Wood Greenery. *Khimiya drevesiny*, 1983, no. 4, pp. 62–65].

13. *Рощин В.И., Баранова Р.А., Белозерских О.А., Соловьев В.А.* Состав экстрактивных веществ хвои и побегов ели европейской // Химия древесины. 1983. № 4. С. 56–61. [Roshchin V.I., Baranova R.A., Belozerskikh O.A., Solov'yev V.A. Composition of Extractives from Needles and Shoots of Norway Spruce. *Khimiya drevesiny*, 1983, no. 4, pp. 56–61].

14. *Салихов Ш.М.* Изоцемброл и N-метилурокановая кислота в синтезе потенциальных цитотоксических биомиметиков: автореф. дис… канд. хим. наук. Уфа, 2007. 22 с. [Salikhov Sh.M. *Isocembrol and N-methylurocanic Acid in the Synthesis of Potentially Cytotoxic Biomimetics*: Cand. Chem. Sci. Diss. Abs. Ufa, 2007. 19 p.].

15. *Тарханов С.Н., Аганина Ю.Е., Пахов А.С.* Сезонная изменчивость биохимических показателей и поврежденность разных форм сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв северной тайги // Лесн. вестн. / Forestry bulletin. 2018. Т. 1, № 1. С. 5–12. [Tarkhanov S.N., Aganina Yu.E., Pakhov A.S. Seasonal Variability of Biochemical Characteristics and a Defect in the Needless of Different Forms of *Pinus sylvestris* under Stress Conditions in the Northern Taiga. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 1, no. 1, pp. 5–12]. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-5-12

16. *Тишкина Е.А., Семкина Л.А.* Оценка состояния ценопопуляций можжевельника обыкновенного по содержанию фотосинтетических пигментов на Среднем и Южном Урале // Лесоведение. 2017. № 6. С. 452–456. [Tishkina E.A., Semkina L.A. Health Assessment Based on Photosynthetic Pigments Contents in Coenopopulations of Common Juniper in Middle and Southern Ural. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 452–456]. DOI: 10.7868/S0024114817060080

17. *Уваровская Д.К.* Эфирные масла дальневосточных видов рода *Juniperus* L.: содержание, состав, использование: дис. … канд. биол. наук. Хабаровск, 2008. 155 с. [Uvarovskaya D.K. *Essential Oils of the Far Eastern Species of the Genus Juniperus* L.: *Content, Composition, and Use*: Cand. Biol. Sci. Diss. Khabarovsk, 2008. 155 p.].

18. *Шлык А.А.* Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / отв. ред. О.А. Павлинова. М.: Наука, 1971. С. 154–170. [Shlyk A.A. Determination of Chlorophylls and Carotenoids in Extracts of Green Leaves. *Biochemical Methods in Plant Physiology*. Editor-in-Chief O.A. Pavlinova. Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 154–170].

19. Adams R.P., Pandey R.N. Analysis of *Juniperus communis* and Its Varieties Based on DNA Fingerprinting. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, vol. 31, iss. 11, pp. 1271–1278. DOI: 10.1016/S0305-1978(03)00036-X

20. Angioni B.A., Russo M.T., Coroneo V. et al. Chemical Composition of the Essential Oils of *Juniperus* from Ripe and Unripe Berries and Leaves and Their Antimicrobial Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, vol. 51, iss. 10, pp. 3073–3078. DOI: 10.1021/jf026203j

21. Bogolitsyn K., Krasikova A., Gusakova M., Ivakhnov A., Gravitis J. Selective Extraction of Terpenoid Compounds of *Juniperus communis* L. Wood in the Medium of a

Binary Solvent (Supercritical $CO_2$ with Modifier). *Phytochemical Analysis*, vol. 30, iss. 6, 2019, pp.1–8. DOI: 10.1002/pca.2833

22. Bogolitsyn K.G., Zubov I.N., Gusakova M.A., Chukhchin D.G., Krasikova A.A. Juniper Wood Structure under the Microscope. *Planta*, 2015, vol. 241, iss. 5, pp. 1231–1239. DOI: 10.1007/s00425-015-2252-1

23. Butkienė R., Nivinskienė O., Mockutė D. Differences in the Essential Oils of the Leaves (Needles), Unripe and Ripe Berries of *Juniperus communis* L. Growing Wild in Vilnius District (Lithuania). *Journal of Essential Oil Research*, 2006, vol. 18, iss. 5, pp. 489–494. DOI: 10.1080/10412905.2006.9699150

24. Cavaleiro C., Pinto E., Gonçalves M.J., Salgueiro L. Antifungal Activity of Juniperus Essential Oils against Dermatophyte, Aspergillus and Candida Strains. *Journal of Applied Microbiology*, 2006, vol. 100, iss. 6, pp. 1333–1338. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2006.02862.x

25. Lesjak M.M., Beara I.N., Orčić D.Z., Anačkov G.T., Baloga K.J., Francišković M.M., Mimica-Dukić N.M. *Juniperus sibirica* Burgsdorf. as a Novel Source of Antioxidant and Anti-Inflammatory Agents. *Food Chemistry*, 2011, vol. 124, iss.3, pp. 850–856. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.07.006

26. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive Properties of the Plant Pigment Systems. *Photosynthetica*, 1993, vol. 29(2), pp. 195–203.

27. Orav A., Kailas T., Müürisepp M. Chemical Investigation of the Essential Oil from Berries and Needles of Common Juniper (*Juniperus communis* L.) Growing Wild in Estonia. *Natural Product Research*, 2010, vol. 24, iss. 19, pp. 1789–1799. DOI: 10.1080/14786411003752037

## COMPOSITION OF EXTRACTIVE SUBSTANCES FROM WOOD GREENERY OF COMMON JUNIPER (*Juniperus communis* L.) IN SUBARCTIC TERRITORIES

***N.V. Selivanova,*** *Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist;*
*ResearcherID: AAA-5681-2019, ORCID: 0000-0002-3393-0664*
***N.A. Samsonova,*** *Junior Research Scientist; ORCID: 0000-0003-4422-7453*
***M.A. Gusakova,*** *Candidate of Engineering, Leading Research Scientist;*
*ResearcherID: AAB-5528-2019, ORCID: 0000-0002-2937-2604*
***K.G. Bogolitsyn,*** *Doctor of Chemistry, Chief Research Scientist, Prof.;*
*ResearcherID: AAA-6432-2019, ORCID: 0000-0002-4055-0483*
***M.V. Bogdanov,*** *Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist, Assoc. Prof.;*
*ResearcherID: AAE-8930-2019, ORCID: 0000-0001-5414-5588*
N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: snatalia-arh@yandex.ru, gavrilova.iepn@yandex.ru, mariya_gusakova@mail.ru, k.bogolitsin@narfu.ru, bmvmicha@ mail.ru

Common juniper is widespread in the European North. However, juniper is poorly studied in relation to the fact that the content of certain bioactive substances depends on the plant species and the climatic conditions of its growth. The results of studying juniper (growing in Arkhangelsk region) extractives soluble in petroleum ether, ethanol and hot water are presented. The composition of volatile extractives was determined by chromatomass spectrometry. It was found that the terpenic series compounds tend to prevail in the ethanolic extract of *Juniperus communis* L. wood greenery; among them are α-pinene (14.14 %), thunbergol (9.39 %), $\Delta^3$-carene (2.64 %), and β-phellandrene (2.02 %). Studying the dynamics of essential oil accumulation in wood greenery of common juniper during various months of the year has shown that its content varies depending on seasonality (2.3–3.3 % a.d.s.). The essential oil basis is oxygen-containing derivatives of terpenes: T-muurolol (11.11 %),

spathulenol (5.13%), α-cadinol (3.02 %), thunbergol (2.66 %), nerolidol (2.60 %). The undertaken studies of pigment complex of wood greenery have shown that common juniper is characterized by relatively low quantitative indicators of carotenoids and chlorophylls *a* and *b* in the northern taiga.

***For citation:*** Selivanova N.V., Samsonova N.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G., Bogdanov M.V. Composition of Extractive Substances from Wood Greenery of Common Juniper (*Juniperus communis* L.) in Subarctic Territories. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 241–254. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.241

***Funding:*** The studies were carried out with financial support from the Federal Agency for Scientific Organizations of Russia (topic No. AAAA-A18-118012390231-9) and the project of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences No. AAAA-A18-118012390228-9. This research was carried out using the equipment of the Shared Use Equipment Center "Arktika" (NArFU) and the Shared Use Equipment Center "Crucial Technologies of the Russian Federation in the field of Environmental Security in the Arctic" (FCIARctic).

*Keywords:* common juniper, wood greenery, extractives, essential oil, chromatomass spectrometry.

Поступила 15.03.19 / Received on March 15, 2019

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 631.8
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.255

# ФИТОМИНЕРАЛЬНЫЙ ГЕЛЬ ДЛЯ ИНКРУСТАЦИИ КОРНЕЙ СЕЯНЦЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ (*Picea obovata* Ledeb.)

***А.Л. Воробьев*[1], *д-р биол. наук, проф.;*** *ORCID: 0000-0002-7767-8114*
***А.А. Калачев*[2], *д-р с.-х. наук;*** *ORCID: 0000-0002-4444-0193*
***С.В. Залесов*[3], *д-р с.-х. наук, проф.;*** *ResearcherID: H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X*
[1]Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, ул. Севастопольская, д. 16/1, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, 070010; e-mail: vorobyovalex@mail.ru
[2]Алтайский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации», ул. Островского, д. 13А, г. Риддер, Республика Казахстан, 071302; e-mail: Kalachev_75_los@mail.ru
[3]Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: zalesov-sv@mail.ru

В настоящее время для повышения устойчивости растений в экосистемах к действию стрессовых факторов среды обитания актуальной является разработка экологически безопасных высокоэффективных препаратов комплексного действия, обладающих ростостимулирующим, адаптогенным и фитопротекторным свойствами, используемых в том числе для повышения приживаемости саженцев хвойных деревьев. Для улучшения приживаемости саженцев и повышения их устойчивости к стрессу создан фитоминеральный гидрогель, полученный из экстракта хвои ели сибирской и активированного бентонита (кремнийсодержащего минерала). Высокая эффективность гидрогеля обеспечивается ингредиентами, входящими в его состав, и механоактивацией бентонита до образования частиц наноразмеров, при этом биологически активные вещества переходят в доступную для растений форму. Стимуляторы, полученные из хвои и активированного бентонита, проникая в растения, активизируют гены защиты и стрессоустойчивости, т. е. биологические ресурсы сеянцев, способствуют повышению их иммунитета, приживаемости посадочного материала и снижению затрат на его производство ввиду низкой себестоимости исходного сырья. Цель исследования – установление перспективности применения фитоминерального гидрогеля для инкрустации корней сеянцев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) при создании лесных культур. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что приживаемость опытных образцов ели сибирской составляет 96,25 %, в контроле – 89,30 %. Прирост у контрольных сеянцев оказался меньше на 4,9 см, или на 50,0 %.
***Для цитирования:*** Воробьев А.Л., Калачев А.А., Залесов С.В. Фитоминеральный гель для инкрустации корней сеянцев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 255–261. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.255

*Ключевые слова:* сеянцы ели сибирской, фитоминеральный гидрогель, инкрустация, приживаемость.

*Введение*

В последние годы изучение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала показало высокую эффективность их применения в питомниках. Причем эффект достигается независимо от способа использования – предпосевная обработка семян или внекорневая обработка сеянцев. Стимуляторы ускоряют прорастание семян, положительно влияют на развитие корневых систем и рост сеянцев, способствуют лучшему выживанию в условиях засухи и отрицательного воздействия пониженных температур. Повышается сохранность сеянцев при пересадке.

В связи с этим для увеличения устойчивости растений в экосистемах к действию стрессовых факторов среды обитания актуальной является разработка экологически безопасных высокоэффективных препаратов комплексного действия (в том числе для повышения приживаемости сеянцев хвойных видов), обладающих ростостимулирующим, адаптогенным и фитопротекторным свойствами. Поэтому в условиях обострения экологических проблем необходимо создание качественных нетоксичных регуляторов роста, прежде всего антистрессового действия [5].

Известно, что при пикировке сеянцев нарушается 25 % корней; при их пересадке в питомнике теряется около 30 % корней; а при высадке на постоянное место выращивания повреждается около 40 % корневой системы (здесь не имеется в виду пересадка растений с закрытой корневой системой, т.е. контейнерная культура), что естественно приводит к уменьшению площади питания и стрессовому состоянию растений [7].

Для улучшения приживаемости сеянцев и повышения их устойчивости к стрессу нами создан фитоминеральный гидрогель, полученный из экстракта хвои ели сибирской и активированного бентонита (кремнийсодержащего минерала). Высокая эффективность гидрогеля обеспечивается ингредиентами препарата и механоактивацией бентонита до образования наночастиц, при этом биологически активные вещества переходят в доступную для растений форму [9].

Установлено, что хвоя и молодые побеги содержат до 20 % углеводов (мономеры, димеры – сахароза и целлобиоза), полимеров (крахмал и другие водорастворимые углеводные полимеры), 10...18 % белка, 3...5 % микро- и макроэлементов, водорастворимые витамины и другие полезные для жизнедеятельности физиологически активные вещества. В процессе экстракции из древесной зелени хвои в раствор извлекаются экстрактивные вещества, в том числе природные фенольные соединения: ацетофеноны, гидроксибензойные и гидроксикоричные кислоты, флавоноиды, стильбены. Природные фенольные соединения обладают фунгицидной, репеллентной и инсектицидной активностью по отношению к ряду вирусов, грамположительным и грамотрицательным микроорганизмам, патогенным грибам, а также ростостимулирующим действием на растения [2–4, 12, 13].

Стимуляторы, полученные из хвойных пород, проникая в растение, активизируют гены защиты и стрессоустойчивости, т. е. биологические ресурсы

растений, способствуют повышению их иммунитета, увеличивают урожайность, улучшают качества получаемой продукции [8, 11, 14].

Бентонит (монтморрилонит) – природный алюмосиликатный минерал. Кристаллическая решетка бентонита подвижна и легко поглощает токсины, яды, шлаки и другие вредные вещества. Это происходит за счет того, что межслоевое пространство этого минерала может увеличиваться в объеме в 13–15 раз. Особенностью монтмориллонита также является обволакивающее и регенерирующее действие [6]. Установлено, что он проявляет антитоксические, антисептические и бактерицидные свойства. Наружное назначение бентонита оказывает стимулирующее влияние на регенерацию тканей в месте повреждения.

Анализ химического состава показал, что бентонит характеризуется высоким (более 54 %) количеством окиси кремния и содержит в виде ионов 70 макро- и микроэлементов. Гидрофильный характер бентонитовой матрицы способствует протеканию процессов сорбции воды. Сорбированные молекулы воды всасываются клетками растений и служат катализаторами обмена веществ, происходит регуляция водного и питательного баланса растений.

Одной из важных функций активных форм кремния является стимуляция развития корневой системы. Установлено, что при улучшении кремниевого питания растений увеличивается количество корешков второго и третьего порядков. Дефицит кремниевого питания служит одним из лимитирующих факторов развития корневой системы растений. Кремний может участвовать в процессе поддержки внутреннего резерва воды, что является одним из механизмов, который позволяет растениям выживать в условиях острого недостатка влаги. Кроме того, кремний повышает уровень сопротивляемости растений любым стрессам и не оказывает токсичного влияния на них. Таким образом, основной функцией кремния в растениях может быть увеличение устойчивости их организма к неблагоприятным условиям, выражающееся в утолщении эпидермальных тканей (механическая защита), ускорении роста и развития корневой системы (физиологическая защита), связывании токсичных соединений (химическая защита) и повышении биохимической устойчивости к стрессам (биохимическая защита) [9].

Использование бентонита часто сдерживается низким качеством исходного сырья, которое необходимо подвергать обогащению. В качестве метода обогащения выбрана направленная физико-химическая модификация и активация – механоактивация. Это высокоэнергетический процесс измельчения и наноструктурирования исходных порошков в вибрационных измельчителях. Механоактивация позволяет уменьшить размеры частиц в среднем от 60 до 0,25 мкм с наличием значительной доли частиц, имеющих размеры до 50 нм [1].

Корни растений, покрытые гелем бентонита, который при внесении в почву набухает из-за сорбции почвенной влаги и превращается в рыхлую массу, быстро развиваются за счет усиленного питания микроэлементами и другими полезными веществами.

Следовательно, использование хвои и бентонита для получения фитоминерального гидрогеля позволит повысить уровень приживаемости саженцев хвойных деревьев и снизить затраты на их производство ввиду низкой себестоимости исходного сырья.

Применяют фитоминеральный гидрогель путем инкрустации корней растений. Инкрустация – технологический процесс, посредством которого на поверхность семян или корней наносится жидкий состав на основе водного раствора пленкообразователя, создающего защитную среду, которая содержит вещества, стимулирующие рост и развитие растений. Эти вещества закрепляются в оболочке на поверхности семян или корней, обеззараживают их, закрывают места микротравм, изолируют их от патогенной микрофлоры почвы, уменьшают потери биологически активных веществ.

Бентонитовый гидрогель удерживает почвенную влагу даже в период сильной засухи, постепенно отдавая ее корневой системе растений. Поскольку растения находятся в комфортных условиях, у них повышается устойчивость к заболеваниям. Это позволяет либо отказаться от средств химической защиты, либо значительно снизить их применение.

*Объекты и методы исследования*

Нами предложен способ получения фитоминерального гидрогеля для повышения приживаемости сеянцев, включающий водную экстракцию хвои ели сибирской, смешивание полученного экстракта с активированным бентонитом и последующую механохимическую обработку смеси. Продукт после механохимического преобразования можно использовать в качестве готовой формы фитоминерального стимулятора [10].

Предложенный способ реализуется следующим образом. Для получения экстракта хвою ели сибирской выдерживают при температуре 3...4 $^{o}$C в течение 10 сут, промывают водой, измельчают до 2...3 мм, смешивают с дистиллированной водой в соотношении 1 : 10, смесь кипятят 60 мин и фильтруют через ватно-марлевый фильтр. Бентонит просушивают 10 мин для удаления свободной воды при температуре 120...130 $^{o}$C и проводят механохимическую активацию на вибромельнице ВМ-0,6 в течение 20 мин. Затем активированный бентонит смешивают с экстрактом хвои в соотношении 1 : 10, смесь подвергают обработке на вибромельнице в течение 5 мин и получают готовый препарат гелеобразной консистенции с запахом хвои.

Активность стимулятора изучали, определяя его влияния на приживаемость 3-летних сеянцев ели сибирской в лесных культурах, созданных в 2016 г. Объект исследований – лесной фонд коммунального государственного учреждения «Черемшанское лесное хозяйство», расположенный в Западно-Алтайской лесорастительной провинции на территории Северного низкогорно-среднегорного лесорастительного района пихтовых лесов. Почвы на участках под лесные культуры – горно-дерновые среднепрофильные среднесуглинистые, способ ее обработки – бульдозерные площадки, способ посадки – ручной, под меч Колесова. Размещение сеянцев 1,3×1,3 м. Перед посадкой корни сеянцев окунали в фитоминеральный гель на 3...5 с и слегка подсушивали. Контролем служили сеянцы ели без использования стимулятора.

*Результаты исследования и их обсуждение*

По окончании эксперимента проведен сравнительный анализ приживаемости сеянцев по некоторым биометрическим показателям. В таблице представлены результаты применения фитоминерального стимулятора на сеянцах ели сибирской.

**Приживаемость сеянцев ели сибирской**

| Показатель | Значение показателя для сеянцев | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | обработанных фитоминеральным гидрогелем | | | | необработанных (контроль) |
| *В момент посадки* | | | | | |
| Количество сеянцев, повторность/шт. | 1/26 | 2/20 | 3/20 | 4/24 | 614 |
| Средняя высота, см | 15,4±1,52 | 16,2±1,49 | 15,8±2,01 | 15,9±1,36 | 14,5±2,04 |
| *По итогам осенней инвентаризации* | | | | | |
| Приживаемость: шт./% | 26/100 | 19/95 | 18/90 | 24/100 | 548/89,3 |
| Средняя высота, см | 25,4±1,35 | 26,5±1,42 | 25,7±1,02 | 24,9±0,29 | 19,4±1,04 |
| Прирост, см | 10,0 | 10,3 | 9,9 | 9 | 4,9 |

Данные опыта, полученные в 4-кратной повторности и представленные в таблице, свидетельствуют о том, что приживаемость опытных образцов составляет 96,25 %, в контроле – 89,30 %, средняя высота растений, обработанных фитоминеральным гелем, – (25,6±0,29) см, необработанных – (19,4±1,04) см. Прирост у контрольных сеянцев оказался меньше на 4,9 см, или на 50,0 %.

*Заключение*

Проведенные исследования показали эффективность использования фитоминерального гидрогеля для обработки сеянцев ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) при создании лесных культур. Основные преимущества применения фитоминерального гидрогеля:

стимулятор имеет низкую себестоимость и экологически безопасен, так как его получают из природных субстанций без применения дорогостоящих и вредных органических растворителей, производство безотходное;

высокая эффективность предлагаемого стимулятора обеспечивается спектром компонентов препарата и механоактивацией бентонита (до образования наночастиц), при этом биологически активные вещества переходят в доступную для растений форму;

стимулятор перспективен для использования в лесокультурном производстве, так как имеет антистрессовую активность в неблагоприятных гидротермических и эдафических условиях; гидрофильный характер бентонитовой матрицы способствует протеканию процессов сорбции воды, а сорбированные молекулы воды всасываются растительными клетками и служат катализаторами для интенсификации обмена веществ.

Практическая значимость заключается в том, что предлагаемый фитоминеральный гидрогель повышает приживаемость сеянцев ели сибирской до 12,9 %, прирост опытных сеянцев увеличивается на 7,5...50,0 % в сравнении с контролем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аввакумов Е.Г.* Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1986. 305 с. [Avvakumov E.G. *Mechanical Methods for Activation of Chemical Processes*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 305 p.].

2. *Артемкина Н.А., Рощин В.И.* Экстрактивные вещества хвои и побегов ели европейской *Picea abies* (L.) Karst . 1. Фенольные соединения, их выделение и иден-

тификация // Растительные ресурсы. 2004. Т. 40, вып. 3. С. 77–86. [Artemkina N.A., Roshchin V.I. Extractive Substances from Needles and Shoots of *Picea abies* (L.) Karst. 1. Phenolic Compounds, Their Isolation and Identification. *Rastitelnye Resursy*, 2004, vol. 40, iss. 3, pp. 77–86].

3. *Баюнова Е.А., Анашенков С.Ю., Короткий В.П., Рощин В.И.* Липофильные соединения «Хвойно-энергетической добавки» из древесной зелени сосны для рационов сельскохозяйственных животных // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2015. № 3(12). С. 144–147. [Bayunova E.A., Anashenkov S.Yu., Korotkiy V.P., Roshchin V.I. Lipophilic Compounds of "Coniferous-Energy Additive" from Pine Wood Greenery for Diets of Farm Animals. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2015, no. 3(12), pp. 144–147].

4. *Васильев С.Н., Рощин В.И., Фелеке С.* Экстрактивные вещества древесной зелени *Picea abies* (L.) Karst // Растительные ресурсы. 1996. Т. 32, вып. 1–2. С. 151–175. [Vasil'yev S.N., Roshchin V.I., Feleke S. Extractive Substances from the Wood Greenery of *Picea Abies* (L.) Karst. *Rastitelnye Resursy*, 1996, vol. 32, iss. 1-2, pp. 151–175].

5. *Воробьев А.Л., Алипина К.Б., Лутай С.С.* Применение органоминеральных нанобиокомпозитов для инкрустации семян // Стратегия территориального инновационного развития региона «Золотое кольцо Алтая»: архитектурно-строительная отрасль: материалы междунар науч.-практ. конф., 27–28 нояб. Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. С. 189–191. [Vorobyov A.L., Alipina K.B., Lutay S.S. The Use of Organic Nanobiocomposites for Seed Incrustation. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Strategy for the Territorial Innovation Development of the Altai Golden Ring Region: Architectural and Construction Industry", November 27–28, 2012*. Ust-Kamenogorsk, VKGTU Publ., 2012, pp. 189–191].

6. *Жолобова И.С., Борисенко В.В.* Бентониты в ветеринарии: краткий обзор современного состояния и перспективы развития // Молодой ученый. 2016. № 13(117). С. 929–935. [Zholobova I.S., Borisenko V.V. Bentonites in Veterinary Medicine: A Brief Overview of the Current State and Prospects of Development. *Molodoy uchenyy*, 2016, no. 13(117), pp. 929–935].

7. *Комарова Е.* Агротехника хвойных растений // ЛПХ. [Komarova E. Agricultural engineering of Coniferous Plants. *Agricultural Web Portal for Owners of Private Subsidiary Farms LPKh*]. Режим доступа: https://hozyaistvo.com/articles/153-agrotehnika-hvoinyh-rastenii.html (дата обращения: 05.10.2017).

8. *Ларионов Г.И., Стребков В.Н., Кулемин С.В.* Новые препараты: пшенице поможет хвоя // Сельскохозяйственные вести. 2002. № 1. С. 14–15. [Larionov G.I., Strebkov V.N., Kulemin S.V. New Drugs: Needles will Help Wheat. *Sel'skokhozyaystvennyye vesti*, 2002, no. 1, pp. 14–15].

9. *Матыченков В.В.* Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение: автореф. дис. … д-ра биол. наук. Пущино, 2008. 32 с. [Matychenkov V.V. *The Role of Mobile Silicon Compounds in Plants and Soil – Plant System*: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs. Pushchino, 2008. 32 p.].

10. Патент на полезную модель 2058. РК. Способ получения фитоминерального гидрогеля для повышения приживаемости саженцев хвойных деревьев: опубл. 20.06.2016, бюл. № 8 / Воробьев А.Л., Калачев А.А., Данилов М.С., Лутай С.С., Оканов К.С. [Vorobyov A.L., Kalachev A.A., Danilov M.S., Lutay S.S., Okanov K.S. *A Method for Producing Phytomineral Hydrogel to Increase the Survival Rate of Coniferous Seedlings*. Useful Model Patent no. 2058. RK. 2016].

11. Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of Application of a Conifer-Derived Chemical on the Growth and Elemental Composition of *Pinus Sylvestris* L. Seedlings in a Forest Nursery. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2017, no. 2, pp. 171–180. DOI: 10.14258/jcprm.2017021720

12. Little C.H.A., Savidge R.A. The Role of Plant Growth Regulators in Forest Tree Cambial Growth. *Plant Growth Regulators*, 1987, vol. 6, iss. 1–2, pp. 137–169. DOI: 10.1007/BF00043953

13. Roshchin V.I., Nagibina N.Yu., Kurts L. Amounts of the Major Compounds in Needles of *Pinus Sylvestris* from Various Growth Sites. *Chemistry of Natural Compounds*, 1990, vol. 26, iss. 2, pp. 228–229. DOI: 10.1007/BF00607558

14. Xu Y., Zhang Y., Li Y., Li G., Liu D., Zhao M., Cai N. Growth Promotion of Yunnan Pine Early Seedlings in Response to Foliar Application of IAA and IBA. *International Journal of Molecular Sciences*, 2012, vol. 13, iss. 5, pp. 6507–6520. DOI: 10.3390/ijms13056507

## PHYTOMINERAL GEL FOR SEEDLING ROOTS INCRUSTATION OF SIBERIAN SPRUCE (*Picea obovata* Ledeb.)

***A.L. Vorobyov*[1]**, *Doctor of Biology, Prof.; ORCID: 0000-0002-7767-8114*
***A.A. Kalachev*[2]**, *Doctor of Agriculture; ORCID: 0000-0002-4444-0193*
***S.V. Zalesov*[3]**, *Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X*
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, ul. Sevastopol'skaya, 16/1, Ust-Kamenogorsk, 070010, Republic of Kazakhstan; e-mail: vorobyovalex@mail.ru
[2]Altai Branch of Kazakh Scientific Research Institute of Forestry, ul. Ostrovskogo, 13A, Ridder, 071302, Republic of Kazakhstan; e-mail: Kalachev_75_los@mail.ru
[3]Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: zalesov-sv@mail.ru

Currently, in order to increase the resistance of plants in ecosystems to the action of stress factors of the habitat, development of environmentally safe and highly effective drugs of complex action with growth-stimulating, adaptogenic and phytoprotective properties, and applicable for the increase of survival rate of coniferous seedlings, is urgent. A phytomineral hydrogel derived from Siberian spruce needles extract and activated bentonite (a siliceous mineral) was created to improve the survival rate and resistance to stress of seedlings. High efficiency of the hydrogel is provided by the ingredients of its composition and mechanical activation of bentonite before the nanoparticles formation, while bioactive substances pass into the plant-available form. Stimulants derived from needles and activated bentonite, penetrating into a plant, activate the genes of protection and stress resistance, that is, the biological resources of seedlings boost their immunity and survival rate of planting material, and reduce its production cost due to the low cost of raw materials. The research purpose was to establish the prospects for the use of phytomineral hydrogel for incrustation of Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) seedling roots in forest plantations development. The analysis of the research results shows that the survival rate of experimental samples of Siberian spruce is 96.25 %, in the control sample – 89.30 %. The growth of the control seedlings was 4.9 cm or 50.0 % less.

***For citation:*** Vorobyov A.L., Kalachev A.A., Zalesov S.V. Phytomineral Gel for Seedling Roots Incrustation of Siberian Spruce (*Picea obovata* Ledeb.). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 255–261. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.255

*Keywords:* Siberian spruce seedlings, phytomineral hydrogel, incrustation, survival rate.

Поступила 19.11.18 / Received on November 19, 2018

УДК 630*182
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.262

# ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СЕМЯН *Pinus sylvestris* L. НА ТЕРРИТОРИИ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

***Л.Н. Пак, канд. с.-х. наук, ст. преподаватель;*** *ResearcherID: D-8212-2016, ORCID: 0000-0002-3635-8675*
Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Сибирский университет потребительской кооперации», Забайкальский институт предпринимательства, ул. Ленинградская, д. 16, г. Чита, Россия, 672086; e-mail: pak_lar@bk.ru

Одной из самых распространенных древесных пород на территории Забайкальского края является сосна обыкновенная (*Pínus sylvestris L.*). Забайкальский край имеет большую протяженность как с севера на юг (около 1000 км), так и с запада на восток (около 800 км). Это обусловливает разнообразие почвенно-климатических условий произрастания данной древесной породы. На основании Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации на территории Забайкальского края выделяются две лесорастительные зоны (Лесостепная и Южно-Сибирская горная зоны) и четыре лесных района (Забайкальский лесостепной район, Байкальский горный лесной район, Забайкальский горно-мерзлотный и Забайкальский горный лесной районы). Чтобы наиболее полно и адекватно оценить воздействие внешних факторов на популяционном уровне организации лесных сообществ необходимо знать средние многолетние значения и пределы изменчивости показателей качества семян по лесорастительным зонам и лесным районам края. Для рассматриваемого региона с учетом лесорастительного районирования конкретные данные до сих пор не опубликованы. Целью данной работы явилось определение средних многолетних значений и пределов изменчивости массы 1000 шт. семян, энергии прорастания и всхожести по 2 лесорастительным зонам и 4 лесным районам Забайкальского края, а также по краю в целом. Эти данные могут служить эталоном для установления нормы высева семян и выращивания в лесных питомниках высококачественного посадочного материала с учетом лесорастительной зоны и лесного района. Одним из доступных способов получения реальной информации о репродукции сосновых лесов данного региона является ретроспективный анализ материалов Центра защиты леса Забайкальского края за период с 1970 по 2016 г. В результате анализа установлено, что средние данные массы 1000 шт. семян, энергии прорастания и всхожести семян по 2 лесорастительным зонам и 4 лесным районам края меняются с севера на юг и с запада на восток. В направлении с севера на юг возрастают: масса 1000 шт. семян – на 25,3 %, энергия прорастания семян – на 16,5 %, всхожесть семян – на 14,9 %. В направлении с запада на восток снижаются: масса 1000 шт. семян – на 3,2 %, энергия прорастания семян – на 1,3 %, всхожесть семян – на 0,9 %. Среднее значение массы 1000 шт. семян для Южно-Сибирской горной зоны составило 6,0 г, для Лесостепной зоны – 7,5 г; средние значения энергии прорастания и всхожести семян – 82,8 и 85,9 %, 88,7 и 91,7 % соответственно. В целом для Забайкальского края: средняя масса 1000 шт. семян – 6,5 г; энергия прорастания семян – 85,7 %; всхожесть семян – 88,8 %.

***Для цитирования:*** Пак Л.Н. Изменчивость показателей качества семян *Pinus sylvestris* L. на территории Забайкальского края // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 262–269. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.262

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, энергия прорастания, всхожесть, масса 1000 шт. семян, изменчивость, лесорастительная зона, лесной район, Забайкальский край.

*Введение*

Одной из самых распространенных древесных пород на территории Забайкальского края является сосна обыкновенная (*Pínus sylvestris L.*). По данным Государственного лесного реестра лесов, расположенных на землях лесного фонда Забайкальского края (по состоянию на 01.01.2017 г.), на долю данной древесной породы приходится 7,8 % от общей площади лесов и 9,0 % от покрытой лесом площади края [3].

Большая протяженность территории Забайкальского края как с севера на юг (около 1000 км), так и с запада на восток (около 800 км) обусловливает разнообразие почвенно-климатических условий произрастания сосны обыкновенной.

На основании Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации на территории Забайкальского края [9] выделяются 2 лесорастительные зоны: Южно-Сибирская горная (I) и Лесостепная (II). Южно-Сибирская горная зона охватывает Байкальский горный лесной, Забайкальский горно-мерзлотный и Забайкальский горный лесной районы; Лесостепная зона включает Забайкальский лесостепной район (рис. 1).

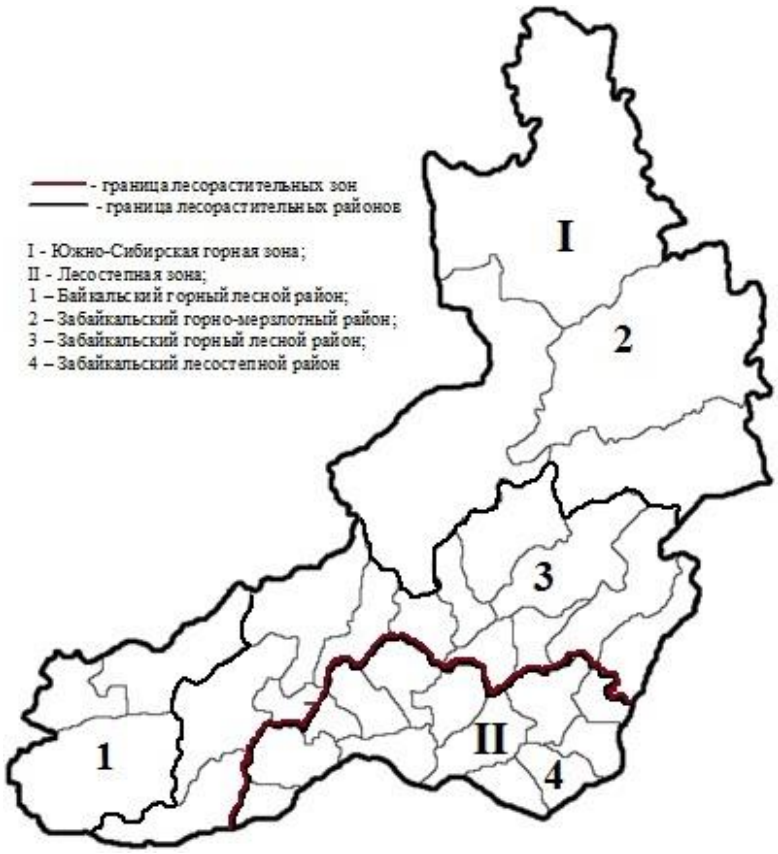



Рис.1. Схема размещения лесорастительных зон (I, II) и лесорастительных районов (1–4) на территории Забайкальского края

Fig. 1. Layout of forest site zones (I, II) and forest site regions (1–4) within in the Territory of Zabaykalsky Krai

По мнению многих авторов [1, 4, 7, 8, 10–23], неоднородность климатических условий вызывает различную интенсивность семеношения и изменчивость процесса образования репродуктивных структур, которые, в частности, характеризуют показатели качества семян. Чтобы наиболее полно и адекватно оценить воздействие внешних факторов на популяционном уровне организации лесных сообществ, необходимо знать средние многолетние значения и пределы изменчивости показателей качества семян по лесорастительным зонам и лесным районам края. До сих пор для рассматриваемого региона с учетом лесорастительного районирования конкретные данные не публиковались.

Цель исследования – определение средних многолетних значений и пределов изменчивости массы 1000 шт. семян, энергии прорастания и всхожести по 2 лесорастительным зонам и 4 лесным районам, а также по краю в целом. Данные массы 1000 шт. семян могут служить эталоном для установления нормы высева семян и выращивания в лесных питомниках высококачественного посадочного материала с учетом лесорастительной зоны и лесного района.

*Объекты и методы исследования*

Одним из доступных способов получения реальной информации о репродукции сосновых лесов исследуемого региона является ретроспективный анализ материалов Центра защиты леса Забайкальского края за период с 1970 по 2016 г. Показатели качества семян сосны в Центре определялись на основании действующего ГОСТ 14161–86 [2].

Изучению подлежали следующие показатели семян: энергия прорастания, всхожесть, масса 1000 шт. семян. Проанализированы материалы 25 лесничеств с учетом Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации [9].

Уровень изменчивости определяли по шкале С.А. Мамаева [5]. Статистическую обработку материалов проводили в программе Excel.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Важным показателем популяции сосны в Забайкальском крае является масса 1000 шт. семян, указывающая на качество семенного материала. Среднее значение массы 1000 шт. семян сосны по краю – 6,5 г (варьирует от 5,6 до 8,0 г), в Южно-Сибирской горной зоне – 6,0 г, в Лесостепной зоне – 7,5 г (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты статистического анализа массы 1000 шт. семян (г) по лесным районам края**

| Район | Среднее значение | Ошибка среднего | Значение | | Коэффициент вариации, % | Точность опыта |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | минимума | максимума | | |
| Байкальский горный лесной район (1) | 5,9 | 0,07 | 5,3 | 6,8 | 7,2 | 1,18 |
| Забайкальский горно-мерзлотный район (2) | 5,6 | 0,14 | 4,4 | 6,7 | 10,8 | 2,5 |
| Забайкальский горный лесной район (3) | 6,1 | 0,06 | 5,4 | 7,0 | 6,5 | 0,9 |
| Забайкальский лесостепной район (4) | 7,5 | 0,10 | 5,7 | 8,9 | 8,6 | 1,3 |

Изменчивость показателя подчиняется широтной зональности. При продвижении с севера на юг по территории края масса 1000 шт. семян сосны возрастает на 2,0 г. Между двумя зонами при уровне значимости $p < 0,05$ отмечались достоверные различия: $t = 13,5$ при $t_{0,05} = 1,99$.

В пределах Южно-Сибирской горной зоны и по краю в целом наименьшая масса семян сосны отмечена в северном Забайкальском горно-мерзлотном лесном районе (4,4 г). По средним значениям массы 1000 шт. семян к данной зоне приближены Байкальский и Забайкальский горные лесные районы. При продвижении с запада на восток масса 1000 шт. семян увеличивается в среднем от 5,9 до 6,1 г. Между этими горными лесными районами при уровне значимости $p < 0,05$ установлены достоверные различия: $t = 2,1$ при $t_{0,05} = 2,00$. Между Байкальским горным лесным и Забайкальским горно-мерзлотным районами, а также между Забайкальским горно-мерзлотным и Забайкальским горным лесным районами различия составляют $t = 2,1$ и $t = 3,2$ при $t_{0,05} = 2,00$ соответственно. Все различия достоверны.

Уровень изменчивости массы 1000 шт. семян по лесорастительным зонам и лесным районам края за 50-летний период низкий (до 12 %). Наибольшей изменчивостью характеризуются семена северного, Забайкальского горно-мерзлотного района, что связано с отсутствием данных об ежегодной заготовке семян сосны.

Кроме массы 1000 шт. семян, изменчивы и подчиняются широтной зональности энергия прорастания семян и их всхожесть (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Результаты статистического анализа энергии прорастания семян (%) по лесным районам края**

| Район | Среднее значение | Ошибка среднего | Значение | | Коэффициент вариации | Точность опыта |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | минимума | максимума | | |
| 1 | 86,6 | 1,11 | 50,9 | 93,1 | 8,7 | 1,2 |
| 2 | 74,0 | 2,81 | 26,0 | 98,0 | 19,3 | 3,7 |
| 3 | 87,8 | 0,78 | 72,8 | 94,5 | 6,09 | 0,8 |
| 4 | 88,7 | 0,58 | 77,5 | 94,7 | 4,4 | 0,6 |

Таблица 3

**Результаты статистического анализа всхожести семян (%) по лесным районам края**

| Район | Среднее значение | Ошибка среднего | Значение | | Коэффициент вариации | Точность опыта |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | минимума | максимума | | |
| 1 | 89,4 | 0,9 | 56,4 | 94,6 | 7,1 | 1,0 |
| 2 | 78,0 | 2,7 | 27,0 | 98,0 | 17,6 | 3,4 |
| 3 | 90,3 | 0,5 | 78,9 | 94,8 | 4,2 | 0,5 |
| 4 | 91,7 | 0,4 | 83,3 | 96,5 | 3,1 | 1,0 |

Средние значения этих показателей по краю составляют 86,9 и 87,3 % соответственно. Энергия прорастания семян варьирует в пределах от 74,9 до 93,4 %, всхожесть семян – от 61,4 до 95,9 %.

В Южно-Сибирской горной зоне энергия прорастания семян в зависимости от средних показателей генеральной совокупности снижается на 2,1 %,

всхожесть – на 1,7 %. В Лесостепной зоне, напротив, эти показатели возрастают на 2,1 и 4,8 % соответственно. Различия между зонами по энергии прорастания составляют t = 130,5 при $t_{0,05}$ = 1,99, по всхожести – t = 66,4 при $t_{0,05}$ = 1,99, т. е. они достоверны.

Самые худшие показатели энергии прорастания и всхожести семян отмечаются в Забайкальском горно-мерзлотном районе. Между всеми лесными районами по энергии прорастания и всхожести наблюдаются достоверные различия. Между Байкальским и Забайкальским горными лесными районами (западными и восточными популяциями сосны) в пределах Южно-Сибирской горной зоны при уровне значимости $p < 0,05$ различия по энергии прорастания составили t = 129,1 при $t_{0,05}$ = 1,99, по всхожести – t = 169,5 при $t_{0,05}$ = 1,99.

Зависимость между массой 1000 шт. семян и их посевными качествами в целом по лесорастительным зонам оказалась высокой (коэффициент корреляции r = 0,9) [6].

*Заключение*

Анализ средних данных массы 1000 шт. семян, энергии прорастания и всхожести по 2 лесорастительным зонам и 4 лесным районам края за 50-летний период показал следующее.

1. В направлении с севера на юг масса 1000 шт. семян, их энергия прорастания и всхожесть возрастают на 25,3; 16,5 и 14,9 % соответственно.

2. В направлении с запада на восток масса 1000 шт. семян, их энергия прорастания и всхожесть снижаются на 3,2; 1,3 и 0,9 % соответственно.

3. Средние значения массы 1000 шт. семян, их энергии прорастания и всхожести для Южно-Сибирской горной зоны и Лесостепной зоны составляют 6,0 и 7,5 г; 82,8 и 85,9 %, 88,7 и 91,7 % соответственно.

4. В целом для Забайкальского края средняя многолетняя масса 1000 шт. семян – 6,5 г, энергия прорастания семян – 85,7 %, всхожесть семян – 88,8 %. Несмотря на территориальную неоднородность природно-климатических факторов, средние значения энергии прорастания и всхожести семян по краю свидетельствуют о хорошей потенциальной продуктивности семян, необходимой для успешного естественного восстановления сосновых формаций Забайкальского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Алексеев В.М., Бурцев Д.С.* Влияние метеорологических факторов на посевные качества семян хвойных пород в условиях таежной зоны северо-запада Европейской части России // Тр. СПбНИИЛХ. 2014. № 3. С. 43–55. [Alekseev V.M., Burtsev D.S. The Influence of Meteorological Factors on Softwood Seeding Qualities in the Conditions of the Taiga Zone of the North-West European Part of Russia. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2014, no. 3, pp. 43–55].

2. ГОСТ 14161–86. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1986. 11 с. [*GOST 14161-86. Seeds of Coniferous Tree Species. Sowing Characteristics. Specification*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1986. 11 p.].

3. Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2016 г. Чита. 2017. 213 с. [*A Report on the Environmental Situation in Zabaykalsky Krai for 2016*. Chita, 2017. 213 p.].

4. *Козубов Г.М.* Особенности репродуктивной деятельности хвойных на севере // Докл. ученых-участников Междунар. симп. по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород (г. Новосибирск, 19–25 июня 1972 г.). Пушкино, 1972. С. 89–97. [Kozubov G.M. Features of Conifers Reproductive Activities of in the North. *Reports of the Scientists – Participants of the International Symposium on Plant Breeding, Genetics and Forest Seed Production of Conifers (Novosibirsk, June 19–25, 1972)*. Pushkino, 1972, pp. 89–97].

5. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука. 1973. 284 с. [Mamayev S.A. *Types of Interspecies Variability of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1972. 284 p.].

6. *Медведев А.Н., Кравченко Г.К.* Использование корреляционной зависимости между всхожестью и энергией прорастания семян для ускоренного их анализа // Лесн. журн. 1969. № 4. С. 131–132. (Изв. высш. учеб. заведений). [Medvedev A.N., Kravchenko G.K. Using the Correlation between Germinability and Germinative Energy for Acceleration of Their Analysis. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1969, no. 4, pp. 131–132]. URL: http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1969.pdf

7. *Некрасова Т.П.* Плодоношение сосны в Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1960. 132 с. [Nekrasova T.P. *Pine Fruiting in Western Siberia*. Novosibirsk, Sibirskoye otdeleniye AN SSSR Publ., 1960. 132 p.].

8. *Новикова Т.Н., Жамъянсурен С.* Изменчивость качества семян сосны обыкновенной у южных пределов ее распространения в Сибири и Монголии // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 4. С. 102–107. [Novikova T.N., Zhamyansuren S. Scotch Pine Seed Quality Variability near Southern Limits of Its Spread in Siberia and Mongolia. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 4, pp. 102–107].

9. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ Минприроды России от 18 авг. 2014 г. № 367 [*Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation "On Approval of the List of Forest Site Zones of the Russian Federation and the List of Forest Districts of the Russian Federation" of August 18, 2014, no. 367*].

10. *Попивщий И.И., Соломатова Т.Д.* Характеристика лесных семян // Лесн. хоз-во. 2001. № 6. С. 25–27. [Popivshchiy I.I., Solomatova T.D. Characterization of Forest Seeds. *Lesnoye khozyaystvo*, 2001, no. 6, pp. 25–27].

11. *Попов П.П.* О показателях дружности прорастания лесных семян в лабораторных условиях // Лесн. хоз-во. 2001. № 6. С. 28–29. [Popov P.P. On the Indicators of Simultaneity of Forest Seeds Germination in Laboratory Conditions. *Lesnoye khozyaystvo*, 2001, no. 6, pp. 28–29].

12. *Правдин Л.Ф.* Закономерность в плодоношении древостоев // Исследования по лесоводству: сб. ст. Л.: Гослестехиздат, 1936. С. 173–202. [Pravdin L.F. A Regular Pattern in Fruiting of Forest Stands. *Studies on Forestry: Collection of Academic Papers*. Leningrad, Goslestekhizdat Publ., 1936, pp. 173–202].

13. *Тольский А.П.* Лесное семеноводство. Изд. 2-е. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1950. 167 с. [Tol'skiy A.P. *Forest Seed Production*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1950. 167 p.].

14. Castro J., Hódar J.A., Gómez J.M. Seed Size. Ch. 14. *Handbook of Seed Science and Technology*. Ed. by A.S. Basra, New York, Haworth Press, 2006, pp. 397–428.

15. Cooper C.S., Qualls M. Seedling Vigor Evaluation of Four Birdsfoot Trefoil Varieties Grown under Two Temperature Regimes. *Crop Science*, 1968, vol. 8, no. 6, pp. 756–757. DOI: 10.2135/cropsci1968.0011183X000800060035x

16. Delouche J.C. Physiology of Seed Storage. *Proceedings of the 23rd Corn and Sorghum Research Conference of American Seed Trade Association*. 1968, pp. 83–90.

17. Ewart A.J. On the Longevity of Seeds. *Proceedings of the Royal Society of Victoria*, 1908, vol. 21, pp. 1–210.

18. Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus silvestris*) Cone Crops in Poland. *Arboretum Kórnickie*, 1976, vol. 21, pp. 367–374.

19. Heydecker W. Vigor. *Viability of Seeds*. Ed. by E.H. Roberts. Haarlem, Springer Netherlands, 1972, pp. 209–252. DOI: 10.1007/978-94-009-5685-8

20. Roberts E.H. Cytological, Genetical, and Metabolic Changes Associated with Loss of Viability. *Viability of Seeds*. Ed. by E.H. Roberts. Haarlem, Springer Netherlands, 1972, pp. 253–306. DOI: 10.1007/978-94-009-5685-8

21. Roberts E.H. Storage Environment and the Control of Viability. Viability of Seeds. Ed. by E.H. Roberts. Haarlem, Springer Netherlands, 1972, pp. 1–58. DOI: 10.1007/978-94-009-5685-8

22. Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus silvestris*. *Metsatieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja*, 1962, vol. 53, no. 4, p. 198.

23. Went F.W., Munz P.A. A Long Term Test of Seed Longevity. *Aliso*, 1949, vol. 2, no. 1, pp. 63–75.

## VARIABILITY OF SEED QUALITY INDICATORS OF *Pinus sylvestris* L. WITHIN THE TERRITORY OF ZABAYKALSKY KRAI

***L.N. Pak,*** *Candidate of Agriculture, Senior Lecturer; ResearcherID: D-8212-2016, ORCID: 0000-0002-3635-8675*
Siberian University of Consumer Cooperation, Transbaikal Institute of Entrepreneurship, ul. Leningradskaya, 16, Chita, 672086, Russian Federation; e-mail: pak_lar@bk.ru

One of the most wildly spread wood species within the territory of Zabaykalsky Krai is Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Zabaykalsky Krai has a great length both from North to South (about 1000 km) and from West to East (about 800 km). This is responsible for a variety of soil and climatic conditions of growth of this wood species. There are two forest site zones (forest-steppe and Southern Siberia mountain zones) and four forest regions (Zabaykalsky forest-steppe, Baikal mountain-forest, Zabaykalsky mountain-permafrost and Zabaykalsky mountain-forest regions) within the territory of Zabaykalsky Krai according to the List of Forest Site Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation. It is necessary to know the long-term average values and limits of variability of seed quality indicators for the forest site zones and forest regions of the region in order to completely and adequately assess the effect of external factors on the population level of forest communities. So far, specific data have not been published for the considered region providing in relation to forest site zoning. The research purpose was to determine the long-term average values and limits of variability of weight of 1000 pcs of seeds, germinative energy and germinability for 2 forest site zones and 4 forest regions of the Krai, as well as for the Krai as a whole. These data can serve as a standard for rate setting of sowing seeds and growing high-quality planting material in forest nurseries for the forest site zone and forest region. One of the available methods for obtaining realistic data on pine forests reproduction in the region is a look back analysis of the materials of the Center for Forest Protection of Zabaykalsky Krai for the period from 1970 to 2016. As a result of the analysis, it was found that the average weight data of 1000 pcs of seeds, germinative energy and germinability for 2 forest site zones and 4 forest regions of the Krai change from North to South and from West to East. They increase in the direction from North to South: weight of 1000 pcs of seeds – by 25.3 %, germinative energy – by 16.5 %, and germinability – by 14.9 %. They decrease in the direction from West to East: weight of 1000 pcs of seeds – by 3.2 %, germinative energy – by 1.3 %, and germinability – by 0.9 %. The average weight of 1000 pcs of seeds for the Southern Siberia mountain zone was 6.0 g, for the forest-steppe zone – 7.5 g; the average values of germinative energy and germinability – 82.8 and 85.9 %,

88.7 and 91.7 %, respectively. All in all for Zabaykalsky Krai, the average weight of 1000 pcs of seeds corresponds to 6.5 g, germinative energy – 85.7 %, and germinability – 88.8 %.
***For citation:*** Pak L.N. Variability of Seed Quality Indicators of *Pinus sylvestris* L. within the Territory of Zabaykalsky Krai. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 262–269. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.262

*Keywords:* Scots pine, germinative energy, germinability, weight of 1000 pcs of seeds, variability, forest site zone, forest region, Zabaykalsky Krai.

Поступила 04.04.19 / Received on April 04, 2019

УДК 630*3:001.89+674:001.89
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.270

# ПУБЛИКАЦИОННАЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ИНТЕРЕСАХ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

***В.С. Шалаев*[1]*, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: AAC-8697-2019, ORCID: 0000-0002-1815-0176*
***С.Н. Рыкунин*[1]*, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: N-3182-2013, ORCID: 0000-0002-4471-4668*
***В.И. Мелехов*[2]*, д-р техн. наук, проф.;*** *ResearcherID: Q-1051-2019, ORCID: 0000-0002-2583-3012*
[1]Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 1-я Институтская ул., д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: shalaev@mgul.ac.ru, rikunin@mgul.ac.ru
[2]Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.melekhov@narfu.ru

В лесной комплекс России традиционно и по существу включают лесное хозяйство и лесопромышленные отрасли, в первую очередь по заготовке и переработке древесины. Научные организации России, которые занимаются научно-исследовательской работой в интересах лесного комплекса, преимущественно входят в отраслевой, вузовский и академический сектор. Публикационную результативность этих работ можно анализировать на основе данных базы Научной электронной библиотеки. В качестве критериев оценки при этом можно использовать число публикаций работников научной организации, их цитируемость, импакт-фактор журналов, в которых опубликованы статьи, и ряд других показателей, играющих значимую роль при анализе деятельности не только отдельных ученых и научных организаций и учреждений в целом, но и качества научно-исследовательских работ, проводимых в интересах лесного комплекса. База данных электронной библиотеки позволяет составить относительно систематическое представление о публикационной активности российских исследователей, вузов, научных организаций и учреждений в отечественных и зарубежных научных периодических изданиях. Основные выводы исследования: объемы выполняемых научно-исследовательских работ в интересах лесного комплекса в нашей стране находятся на весьма низком уровне; публикационная результативность достигла определенной стабилизации роста, хотя тенденция не столь очевидна и требует дальнейшего изучения; присоединение ряда ведущих вузов отраслевой направленности к непрофильным не всегда положительно влияет на систему подготовки кадров для лесного комплекса и отраслевой науки, что объясняется современным состоянием и перспективами комплекса; необходимо отметить определенные проблемы с качеством публикаций; тенденции ведущих мировых стран в сторону «зеленой» экономики подчеркивают необходимость усиления научно-образовательной составляющей в интересах лесного комплекса. Аналогичные соображения о лесных научных исследованиях и лесном образовании представлены в материалах 14-й сессии Международного форума ООН по лесам.

***Для цитирования:*** Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Мелехов В.И. Публикационная результативность научно-исследовательских работ в интересах лесного комплекса России // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 270–279. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.270
***Благодарность:*** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, проект № 37.8809.2017/8.9.

*Ключевые слова:* публикационная результативность, лесной комплекс, научно-исследовательская работа.

*Введение*

Традиционно и по существу в лесной комплекс (сектор экономики) России включают лесное хозяйство и лесопромышленные отрасли, в первую очередь по заготовке и переработке древесины.

К научным организациям России, которые занимаются научно-исследовательской работой (НИР) в интересах лесного комплекса, преимущественно относят отраслевые, вузовские и академические учреждения. В настоящее время объемы исследований в этом напрвлении находятся на весьма низком уровне: «Расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы составляют 0,01 % от валового внутреннего продукта отрасли, что существенно ниже среднего зарубежного уровня (1,4 % от валового внутреннего продукта) и уровня стран-лидеров (Финляндия – 2,0 %, Норвегия – 3,1 %)» [6, с. 74]; «Финансирование лесных научных исследований и разработок не превышает 0,1 % от валового внутреннего продукта, создаваемого в лесном комплексе» [6, с. 8]. Для сравнения в целом по стране внутренние затраты на исследования и разработки в 2017 г. составляли 1,11 % от внутреннего валового продукта [3] с некоторой тенденцией к увеличению.

Публикационную результативность научно-исследовательских работ, в том числе в интересах лесного комплекса, можно рассматривать и анализировать на основе данных базы Научной электронной библиотеки (НЭБ) e-LIBRARY.RU [4]. При этом публикационная результативность может характеризоваться в первую очередь числом публикаций работников научной организации, их цитируемостью, импакт-фактором журналов, в которых опубликованы статьи, и др.

Все эти показатели играют значимую роль в оценке деятельности как отдельных ученых, так научных организаций и учреждений в целом, их можно рассматривать и при оценке НИР в интересах лесного комплекса. Тем более, что база НЭБ позволяет иметь относительно систематическое представление о публикационной активности тех или иных российских исследователей, вузов, научных организаций и учреждений в отечественных и зарубежных научных периодических изданиях [4].

*Результаты исследования и их обсуждение*

В системе высшего образования можно выделить 3 учебных заведения лесной и лесотехнической направленности, работающих в основном в интересах лесного комплекса: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (ВГЛТУ), Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (СПбГЛТУ), Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ). По данным НЭБ в табл. 1 приведены показатели публикационной результативности этих вузов в динамике за рассматриваемый период с 2008 по 2018 г. [5, 10].

Табл. 1 не содержит информации по таким крупным и достаточно продуктивным вузам, как Братский государственный университет, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Петрозаводский государственный университет, Поволжский государственный технологический университет, некоторым другим вузам, работающим не только в интересах лесного

Таблица 1

**Динамика публикаций по данным НЭБ для вузов, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину августа 2019 г.)**

| Вуз | Год | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| ВГЛТУ | 1087 | 1346 | 1339 | 1175 | 1584 | 1595 | 2261 | 1891 | 1534 | 1323 | 1543 |
| СПбГЛТУ | 325 | 362 | 370 | 373 | 446 | 438 | 611 | 566 | 803 | 758 | 960 |
| УГЛТУ | 273 | 346 | 250 | 278 | 343 | 512 | 590 | 547 | 682 | 697 | 675 |
| *Всего* | 1685 | 2054 | 1959 | 1826 | 2173 | 2545 | **3438** | 3004 | 3019 | 2778 | 3178 |

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2–5, полужирным шрифтом выделено максимальное значение.

комплекса. Эти вузы имеют многофункциональный, политехнический характер, в их научной деятельности отражены не только интересы лесного комплекса. Здесь также не упомянуты Архангельский государственный технический университет (вошел в структуру Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова в 2010 г.), Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров (вошел в структуру Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна), Московский государственный университет леса (вошел в структуру МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2016 г.), Сибирский государственный технологический университет (вошел в структуру Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева в 2016 г.). Эти вузы в настоящее время не являются достаточно автономными (по базе НЭБ), данные по ним привести не представляется возможным. Результативность присоединения этих вузов к непрофильным требует дополнительного анализа, хотя имеющиеся примеры [1, 2, 5, 10] вызывают определенные опасения.

Приведенная нами динамика публикаций для 3 вышеупомянутых вузов (ВГЛТУ, СПбГЛТУ, УГЛТУ) отражает общую тенденцию публикационной результативности выполняемых в вузах НИР в интересах лесного комплекса.

В табл. 2 приведены аналогичные данные по научно-исследовательским организациям-учреждениям Российской академии наук (РАН).

Таблица 2

**Динамика публикаций по данным НЭБ для организаций-учреждений РАН, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину августа 2019 г.)**

| Организация-учреждение | Год | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения | 146 | 153 | 70 | 109 | 153 | 206 | 208 | 386 | 396 | 380 | 275 |
| Институт лесоведения | 55 | 61 | 67 | 63 | 96 | 71 | 112 | 80 | 127 | 184 | 160 |
| Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов | 72 | 37 | 51 | 71 | 83 | 93 | 67 | 59 | 95 | 117 | 84 |
| *Всего* | 273 | 251 | 188 | 243 | 332 | 370 | 387 | 525 | 618 | **681** | 519 |

Необходимо отметить, что в связи с реструктуризацией РАН и соответствующей корректировкой базы данных НЭБ, в табл. 2 отсутствует весьма продуктивный Институт леса им. В.Н. Сукачева, который вошел в структуру Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН. Данные о его публикационной результативности привести несколько затруднительно. Вероятнее всего, динамика публикационной результативности по 3 указанным институтам РАН отражает общую тенденцию публикационной результативности НИР, выполняемых в организациях-учреждениях РАН в интересах лесного комплекса.

Аналогичные данные можно привести и для 6 отраслевых научно-исследовательских институтов (НИИ) из выбранных в базе данных НЭБ 2078 российских НИИ (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика публикаций по данным НЭБ для отраслевых НИИ, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину августа 2019 г.)**

| НИИ | Год | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии | 47 | 43 | 55 | 44 | 70 | 82 | 216 | 177 | 107 | 154 | 102 |
| Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства | 64 | 43 | 41 | 80 | 61 | 100 | 146 | 103 | 105 | 105 | 108 |
| Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства | 9 | 12 | 15 | 15 | 30 | 41 | 54 | 34 | 28 | 22 | 24 |
| Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства | 10 | 2 | 9 | 5 | 10 | **27** | 15 | 17 | 21 | 19 | 19 |
| ГНЦлеспром | 2 | 4 | 6 | 6 | 52 | 7 | 3 | 8 | 10 | 8 | 5 |
| Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства | 5 | 1 | 2 | 6 | 10 | 9 | 7 | 16 | 13 | 27 | 18 |
| *Всего* | 137 | 105 | 128 | 156 | 233 | 266 | **441** | 355 | 284 | 335 | 276 |

Следует отметить, что в табл. 3 приведены данные для наиболее результативных организаций и учреждений, среди которых лишь Государственный научный центр лесопромышленного комплекса (ГНЦлеспром) можно отнести к лесопромышленной отрасли. При этом «…до 1991 г. лесопромышленный комплекс (ЛПК) располагал довольно большим и мощным научным потенциалом. В его состав входили 30 НИИ, 6 ПКТИ, 48 ПКТБ, ПКБ, ОКБ, 11 проектных институтов. Всего 95 творческих организаций, не считая специализированные учебные заведения, научно-исследовательские сектора (НИС) при них, отраслевые и заводские лаборатории…» [11].

О публикациях известнейших в свое время отраслевых (лесопромышленных) НИИ (Центрального НИИ механической обработки древесины, Все-

российского проектно-конструкторского и технологического института мебели и др.) в базе НЭБ не было найдено данных [4]. По ряду отраслевых организаций-учреждений (Центральный научно-исследовательский институт бумаги, Научно-исследовательский институт древесины, ООО «Центральный НИИ фанеры» и др.) данные не анализировались и не приводились в табл. 3 из-за их отсутствия после 2010 г. или незначимых величин.

Динамика показателей результативности прочих организаций-учреждений (Федерального агентства лесного хозяйства, Российского лесного общества, Центральной базы авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана», Международного института леса, Санкт-Петербургского лесного экологического центра, Всероссийского института повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства и др.), индексированных в НЭБ, также и по тем же указанным выше причинам не рассматривалась в дальнейшем. Эта база НЭБ, конечно, не является всеобъемлющей, однако ее наполненность осуществлялась и осуществляется в основном достаточно системно.

Для сопоставления приведем сводные данные, характеризующие динамику публикаций для всех вышеперечисленных категорий организаций-учреждений страны, работающих в основном в интересах лесного комплекса табл. 4. Итоговые данные показаны графически на рис. 1.

Таблица 4

**Динамика публикаций по данным НЭБ для вышеперечисленных организаций-учреждений страны, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину августа 2019 г.)**

| Организация-учреждение | Год | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Вузы (3) | 1685 | 2054 | 1959 | 1826 | 2173 | 2545 | 3438 | 3004 | 3019 | 2778 | 3178 |
| НИИ РАН (3) | 273 | 251 | 188 | 243 | 332 | 370 | 387 | 525 | 618 | 681 | 519 |
| Отраслевые НИИ (6) | 137 | 105 | 128 | 156 | 233 | 266 | 441 | 355 | 284 | 335 | 276 |
| *Итого* | 2095 | 2410 | 2275 | 2225 | 2738 | 3181 | **4266** | 3884 | 3921 | 3794 | 3973 |

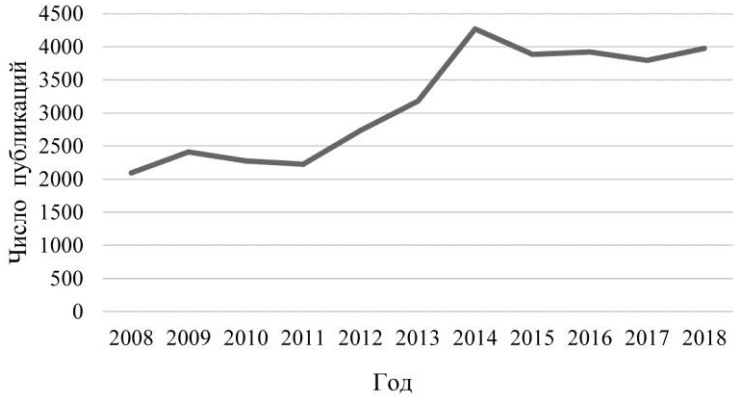



Рис. 1. Динамика числа публикаций по данным НЭБ для организаций-учреждений, работающих в основном в интересах лесного комплекса

Fig. 1. Dynamics of the number of publications according to the Scientific Electronic Library (eLIBRARY.RU) for organizations and institutions working mainly in the interests of the forest complex

Естественно, за общими данными в определенной степени скрывается уровень качества публикаций, что весьма важно при оценке публикационной результативности. Эта наиболее трудная оценка, которая носит достаточно субъективный характер. Вместе с тем, возможности НЭБ позволяют привести комплекс показателей, которые в той или иной степени касаются уровня качества публикационной результативности. В частности, могут быть приведены данные (причем в динамике) по числу статей в журналах, входящих в Web of Science или Scopus; числу статей в журналах, входящих в Российский индекс научного цитирования (RSCI); числу статей в журналах, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования России; числу монографий и патентов; средневзвешенному импакт-фактору журналов, в которых были опубликованы статьи, и др. Не претендуя на полноту оценки, приведем данные, характеризующие динамику статей в журналах, входящих в перечень ВАК, для всех ранее рассмотренных категорий организаций-учреждений страны (табл. 5). Итоговые данные проиллюстрированы на рис. 2.

Таблица 5

**Динамика числа статей в журналах, входящих в перечень ВАК, для вышеперечисленных организаций-учреждений страны, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину августа 2019 г.)**

| Организация-учреждение | Год | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Вузы (3) | 490 | 514 | 709 | 898 | 715 | 660 | 596 | 550 | 524 | 474 |
| НИИ РАН (3) | 65 | 66 | 93 | 134 | 134 | 149 | 138 | 160 | 182 | 147 |
| Отраслевые НИИ (6) | 31 | 42 | 62 | 86 | 107 | 150 | 130 | 109 | 103 | 95 |
| *Итого* | 586 | 622 | 864 | **1118** | 956 | 959 | 864 | 819 | 809 | 716 |

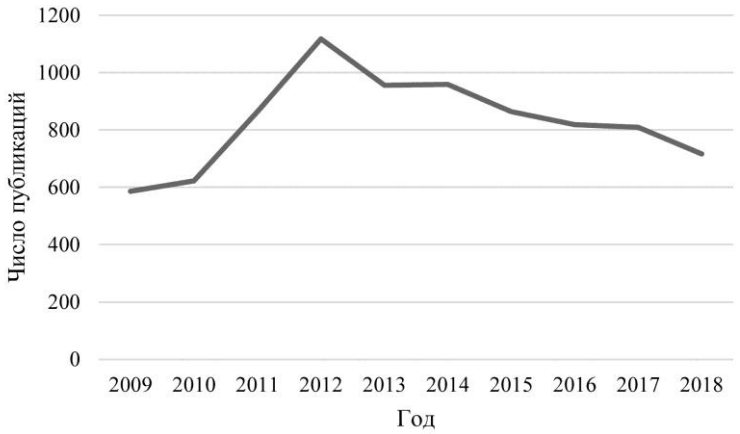



Рис. 2. Динамика числа публикаций в журналах, входящих в перечень ВАК, для организаций-учреждений, работающих в основном в интересах лесного комплекса

Fig. 2. Dynamics of the number of publications in journals that are on the list of the State Commission for Academic Degrees and Titles for organizations and institutions working mainly in the interests of the forest complex

Приведенные данные достаточно объективны и сопоставимы, в значительной степени отражают общие тенденции и позволяют сформулировать определенные выводы и рекомендации.

*Заключение*

В нашей стране научно-исследовательской работой в интересах лесного комплекса занимаются преимущественно отраслевые, вузовские и академические организации и учреждения. Объемы выполняемых исследований для предприятий лесного комплекса находятся на весьма низком уровне.

Публикационная результативность, которая в определенной мере может быть принята за индикатор выполняемых научно-исследовательских работ, достигла определенной стабилизации роста, хотя, если рассматривать период лишь с 2014 г., тенденция не столь очевидна и требует дальнейшего анализа.

Присоединение ряда ведущих вузов отраслевой направленности к непрофильным не всегда положительно сказывается на системе подготовки кадров для лесного комплекса и отраслевой науки. В значительной степени это объясняется современным состоянием и перспективами развития лесного комплекса. Вероятно, публикационная результативность этих вузов требует более детального анализа.

Необходимо отметить некоторые проблемы с качеством публикаций:

по числу статей в журналах, входящих в Web of Science, Scopus или в RSCI, какой-либо тенденции не просматривается;

динамика числа монографий и патентов не подходит в данном случае для оценки качества публикаций (например, для 1 академического и 4 отраслевых НИИ из вышеуказанных за рассматриваемые 10 лет нет ни одного патента; все 6 отраслевых НИИ за эти же 10 лет получили лишь 8 патентов);

наиболее высок средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи, для академических НИИ, низок – для отраслевых НИИ;

динамика числа статей в журналах, входящих в перечень ВАК, для академических НИИ имеет определенную положительную составляющую (несмотря на некоторое ужесточение требований ВАК), в целом по всем 3 категориям рассматриваемых организаций-учреждений, начиная с 2012 г., она отрицательна. Эти оценки, конечно, достаточно субъективно отражают качество публикаций, требуется более комплексный и содержательный подход к анализу.

Определенные тенденции ведущих мировых стран в сторону «зеленой» экономики [7–9, 12, 14–20, 22–24] подчеркивают необходимость усиления научно-образовательной составляющей в сфере лесного комплекса. Аналогичные соображения о лесных научных исследованиях и лесном образовании представлены в материалах 14-й сессии Международного форума ООН по лесам (ФЛООН), прошедшего 6–10 мая 2019 г. в штаб-квартире ООН в Нью-Йорке [13, 21, 25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аналитические записки за 2016 год: сб. / под ред. Н.Н. Калмыкова. М.: ИД «Дело» РАНХиГС, 2017. 406 с. [Kalmykov N.N. *Analytical Notes 2016*: Collection of Articles. Moscow, Delo Publ., 2017. 406 p.].

2. *Бабюк Е.Р., Чекушкин А.С., Шалаев В.С.* Динамика исследований в области лесной продукции в САФУ // Взгляд молодых исследователей: лесной комплекс, экономика и управление: сб. материалов общерос. науч.-практ. конф. (г. Мытищи, Моск. обл., Россия, 27–28 июня, 2018 г.) / отв. ред. Е.А. Тихомиров. Красноярск: Науч.-инновац. центр, 2018. С. 13–15. [Babyuk E.R., Chekushkin A.S., Shalaev V.S. Dynamics of Research in the Field of Forest Products in NArFU. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "The View of Young Researchers: Forestry, Economics, and Management"*. Editor-in-Chief E.A. Tikhomirov. Krasnoyarsk, Publishing House Science and Innovation Center, 2018, pp. 13–15].

3. *Городникова Н.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А. и др.* Наука. Технологии. Инновации: 2019: краткий стат. сб. М.: НИУ «Высшая школа экономики», 2019. 84 с. [Gorodnikova N.V., Gokhberg L.M., Ditkovskiy K.A et al. *Science. Technologies. Innovation: 2019*: A Statistical Digest. Moscow, HSE University Publ., 2019. 84 p.].

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. [Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU]. Режим доступа: http://www.elibrary.ru (дата обращения: 19.06.19).

5. Рейтинг мониторинга эффективности вузов 2018 // Программно-методический комплекс LiftUp. Режим доступа: https://msd-nica.ru/reyting-monitoringa-effektivnosti-vuzov (дата обращения: 19.06.19). [Rating of Monitoring the Effectiveness of Universities in 2018. *Program and Methodological Complex LiftUp*].

6. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сент. 2018 г. № 1989-р. 102 с. [*The Development Strategy for the Forest Complex of the Russian Federation until 2030: Approved by the Order of the Government of the Russian Federation on September 20, 2018, No. 1989-p*. 2018. 102 p.]. Режим доступа: http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf (дата обращения: 19.06.19).

7. *Шалаев В.С.* Направления лесных исследований: состояние и перспективы // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2007. № 4(53). С. 4–5. [Shalaev V.S. Directions of Forest Research: State and Prospects. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 4(53), pp. 4–5].

8. *Шалаев В.С.* Направления лесных исследований за рубежом: от Брисбена до Сеула // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2010. № 6(75). С. 64–75. [Shalaev V.S. Directions of Forest Research Abroad: From Brisbane to Seoul. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2010, no. 6(75), pp. 64–75].

9. *Шалаев В.С.* Направления лесных исследований в мире: Навстречу XXIV Всемирному конгрессу ИЮФРО // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 370. М., 2014. С. 4–9. [Shalaev V.S. Directions of Forest Research in the World: *Towards to the XXIV IUFRO World Congress*. *Academic Papers*. Vol. 370. Moscow, MGUL Publ., 2014, pp. 4–9].

10. *Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Федотов Г.Н.* Публикационная активность как индикатор результативности научно-исследовательских работ. Анализ и перспективы // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2018. Т. 22, № 5. С. 129–136. [Shalaev V.S., Rykunin S.N., Fedotov G.N. Publication Activity as Effectiveness of Scientific Research Indicator. Analysis and Prospects. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2018, vol. 22, no. 5, pp. 129–136]. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-129-136

11. *Якунин Н.К.* Обеспечение научно-технического прогресса в лесопромышленном комплексе // Промышленность России. 1999. № 6(26). С. 24–32. [Yakunin N.K. Ensuring Scientific and Technical Progress in the Forest Industry. *Promyshlennost' Rossii*, 1999, no. 6(26), pp. 24–32].

12. Aldieri L., Vinci C.P. Green Economy and Sustainable Development: The Economic Impact of Innovation on Employment. *Sustainability*, 2018, vol. 10, iss. 10, art. 3541. 11 p. DOI: 10.3390/su10103541

13. Gabay M., Rekola M. *Forests, Peaceful and Inclusive Societies, Reduced Inequality, Education, and Inclusive Institutions at All Levels: Background Study Prepared for*

*the Fourteenth Session of the United Nations Forum on Forests*. United Nations, 2019. 89 p. Available at: https://tuhat.helsinki.fi/ws/portalfiles/portal/126957982/Gabay_Rekola_2019_NFF14_BkgdStudy_SDG4_10_16_March2019.pdf (accessed 19.06.19).

14. Georgeson L., Maslin M., Poessinouw M. The Global Green Economy: A Review of Concepts, Definitions, Measurement Methodologies and Their Interactions. *Geo: Geography and Environment*, 2017, vol. 4, iss. 1, art. e00036. 23 p. DOI: 10.1002/geo2.36

15. Green Growth Indicators 2017. *OECD Green Growth Studies*. Paris, OECD Publishing, 2017. 160 p. DOI: 10.1787/9789264268586-en

16. *IUFRO 2015–2019 Strategy. Interconnecting Forests, Science and People*. 28 p. Available at: https://www.iufro.org/uploads/media/iufro-strategy-2015-2019-small-version.pdf (accessed 19.06.19).

17. Loiseau E., Saikku L., Antikainen R., Droste N., Hansjürgens B., Pitkänen K., Leskinen P., Kuikman P., Thomsen M. Green Economy and Related Concepts: An Overview. *Journal of Cleaner Production*, 2016, vol. 139, pp. 361–371. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.024

18. Mayer P. Global Situation and Trends in Forest Related Research. President's Discussion: Research to Cope with Global Change. *XXII IUFRO World Congress 2005, Brisbane, August 8–13, 2005. Forests in the Balance: Linking Tradition and Technology*. Brisbane. Australia, 2005. 20 p.

19. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W. *The Limits to Growth*. New York, Universe Books, 1972. 205 p.

20. Noh H.J. *Financial Strategy to Accelerate Innovation for Green Growth*. Seoul, Korea Capital Market Institute, 2010. 31 p. Available at: https://www.oecd.org/sti/ind/45008807.pdf (accessed 19.06.19).

21. Nyingi D.W., Lebădă A.-M., Ripley K. Summary of the Fourteenth Session of the United Nations Forum of Forests. *Earth Negotiations Bulletin*, 2019, vol. 13, no. 215. 15 p. Available at: https://enb.iisd.org/vol13/enb13215e.html (accessed 19.06.19).

22. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *A History of IUFRO Congresses, Forest Research and Russia's Participation*. Seoul, Dong Jin Moon Hwa Sa, 2017. 581 p.

23. The International Forestry Review. Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research. *Abstracts of the XXIV IUFRO World Congress, October 5–11, 2014, Salt Lake City, USA*. Ed. by J.A. Parrotta, C.F. Moser, A.J. Scherzer, N.E. Koerth, D.R. Lederle. Craven Arms, UK, Commonwealth Forestry Association, 2014, vol. 16(5). 578 p.

24. Towards Green Growth. *OECD Green Growth Studies*. Paris, OECD Publishing, 2011. 144 p. DOI: 10.1787/9789264111318-en

25. UNFF14 Issue Brief. Forests Peaceful and Inclusive Societies, Reduced Inequality, Education, and Inclusive Institutions at All Levels. *Forests and SDGs 4, 10 and 16*, 2019, no. 3. 4 p. Available at: https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2019/05/UNFF14-brief-Forests-SDGs4-10-16.pdf (accessed 19.06.19).

## PUBLICATION RESEARCH PERFORMANCE FOR THE FOREST COMPLEX OF RUSSIA

***V.S. Shalaev*[1]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: AAC-8697-2019, ORCID: 0000-0002-1815-0176*
***S.N. Rykunin*[1]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: N-3182-2013, ORCID: 0000-0002-4471-4668*
***V.I. Melekhov*[2]**, *Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: Q-1051-2019, ORCID: 0000-0002-2583-3012*
[1]Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: shalaev@mgul.ac.ru, rikunin@mgul.ac.ru

[2]Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.melekhov@narfu.ru

Traditionally and essentially, the forest complex of Russia includes forestry and forest industry, primarily, the harvesting and processing of wood. Russian scientific institutions that are engaged in research in the interests of the forest complex mainly belong to the industry, university and academic sectors. Publication research performance can be measured based on the database of the Scientific Electronic Library (eLIBRARY.RU). In this case, publications performance might be characterized by the number of publications of the scientific institutions employees, their citation rate, impact factor of the journals where the articles are published, and a number of others. These indicators play a significant role in evaluation of activity of both individual scientists and scientific institutions as a whole; they can also be considered in evaluation of research works for the forest complex. Moreover, the database allows to make a relatively systematic representation of publication activity of various Russian researchers, universities, scientific organizations and institutions among domestic and foreign scientific periodicals. Among the main findings of the research are: number of research works carried out in the interests of the forest complex in our country is at a very low level; publication performance has achieved a certain stabilization in growth, although the trend is not so obvious and requires further consideration; joining of a number of leading universities with a sectoral focus to non-core ones does not always have a positive effect on the staff training system for the forest complex and sectoral science, this is largely due to the current state and prospects of the forest complex; certain problems with the quality of publications should be noted; the trends of the leading world countries towards a green economy emphasize the need to strengthen the scientific and educational component for the forest complex. Similar considerations for the forest research and forest education are presented in the proceedings of the 14th session of the UN Forum on Forests.

***For citation:*** Shalaev V.S., Rykunin S.N., Melekhov V.I. Publication Research Performance for the Forest Complex of Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 270–279. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.270

***Acknowledgements:*** The research has been supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project No. 37.8809.2017/8.9.

*Keywords:* publication performance, forest complex, research work.

Поступила 19.06.19 / Received on June 19, 2019

UDC 630*8
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.280

# WOOD WASTE POTENTIAL AS FORESTRY COMPETITIVE ADVANTAGE (BY THE EXAMPLE OF THE ARCTIC INLAND TERRITORIES OF THE RUSSIAN EUROPEAN NORTH)

***H. Falck*** [1], *Managing Director; ORCID: 0000-0003-4976-5453*
***K.L. Mikhaylov*** [2], *Candidate of Economics, Leading Research Scientist; ORCID: 0000-0001-9296-3266*
***N.A. Demidova*** [2], *Candidate of Biology, Deputy Director (Sciences); ResearcherID: T-1151-2019, ORCID: 0000-0003-2673-2309*
[1]Tschudi Bio Company AS, Strandveien 50, 1366 Lysaker, Norway; e-mail: hf@tschudishipping.no
[2]Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: forestry@sevniilh-arh.ru

The research subject is to give consideration of up-to-date best practices of wood waste commercial use, aimed at enhancing forestry competitiveness in the Arctic zone. The research aim is to provide an insight into the potential of wood waste obtained from various logging modes on the territory of the Russian European North and possibilities of its use for commercially successful production. Results of the analysis of business activities of the Russian European North logging enterprises has identified that between 16 and 22 % of wood waste of the total harvested volume are left on cutting area. Between 1.6 to 2.2 mln $m^3$ of wood waste and firewood suitable for further use are left annually on cutting areas in Arkhangelsk Region only. According to estimations, the potential of wood waste obtained from thinning in protected forests in the Arctic zone mainland of the Russian European North is about 1 mln $m^3$ annually for coniferous species only. The calculation of resources based on the total available forest fund, as well as harvesting forest fund was done. One of the main reasons of wood waste recycling inhibition on the Arctic territory is insufficient and unevenly developed transport network. Floating factories at the estuaries of the Arctic rivers could possibly mitigate this disadvantage. Tschudi Shipping Company from Norway has made a conceptual design of a forest FPSO (Floating Production Storage and Offloading) that can process waste wood into high value sugar (wood molasses) and high-energy wood pellets. Estimation of commercial appeal of wood waste recycling has been analyzed through the example of the Arkhangelsk Region. The benchmarking study of competitive advantages of up-to-date Norwegian and Russian experiences of wood waste exploitation has been conducted. The Norwegian Research Council has funded the project through their NORRUS program.

***For citation:*** Falck H., Mikhaylov K.L., Demidova N.A. Wood Waste Potential as Forestry Competitive Advantage (By the Example of the Arctic Inland Territories of the Russian European North). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2019, no. 6, pp. 280–289. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.280
***Funding:*** Publication was created on the research results within the framework of the Research Council of Norway grant for the implementation of the R&D project “Floating Production, Storage & Offloading Biocoal Unit”. Project number: 257666. Publication was created on the research results within the framework of the government task for the Northern Research Institute of Forestry to conduct applied research on “Development of economic-organizational approaches to enhancing forestry competitiveness in the context of the European Russian North taiga zone timberland long lease” No. AAAA-A19-119012590196-8.

*Key words:* forestry, wood waste, competitive advantages, Arctic territories, logistics, Russian and Norwegian practices of wood waste use.

## *Introduction*

The issues of waste management are solved in view of the global problems of sustainment natural resource management and competitiveness improvement [1, 4, 9, 12, 19]. The best Russian and foreign practices reveal possibilities of organization of effective activities to involve waste into production (waste to value) in terms of commercial appeal [6, 7]. Rising amount of private companies regard it acceptable to deal with waste exploitation providing high-demand products and increase of marketability of their business. In our country, one of the issues in view of forest complex and forestry is one of wood waste utilization. Requirements to the issue resolving have been established by the strategy aim of increase of forestry marketability on the federal level [17].

In the connection with acceptance of documents on the Russian Arctic zone development, the wood waste recycling becomes challenging as a part of social-economic development of the territory, ecological safety maintaining and competitive ability of the region and forestry [18]. The specified mainland territories of Russian Arctic zone are marked by a considerable number of protected forests. Commercial exploitation of these forest resources is prohibited and timber harvesting is conducted in terms of forest culture care, on the one hand. On the other hand, a considerable economic base of traditional forest exploitation, processing and forest products export are centered on the territory. The aim of the research is to present the potential of wood waste from different cutting types in the Arctic zone mainland on the European Russian North and the possibilities of its use in marketable products manufacturing.

## *Research objects and methods*

The research objects are forest resources of the European North specified by the Edict of the President of Russian Federation of 2 May 2014 “On the land of the Arctic zone of Russian Federation” [2]. These are Murmansk Region, the territories of Mezen`skoe, Onezhskoye, Primorskoye municipal rayons in Arkhangelsk Region, Belomorskoye, Kemskoye, Lokhskoye municipal rayons in the Republic of Karelia, and Nenets Autonomous Okrug. Eighteen forest districts have been established on these territories.

The estimation of coniferous wood waste potential (pine, spruce) has been conducted in the Arctic zone mainland in the European Russian North, the road sufficiency in the forest districts and subjects of the Russian Federation has been analyzed, and possibilities of effective logistics development for wood waste delivery to consumers has been estimated.

Wood waste are regarded as resources for further use and forming competitive advantages. The Russian and Norwegian experience of wood waste recycling in different spheres has been studied [3]. The wood waste in the present study is considered as remains of raw materials, materials and semi-products which are obtained in the process of logging and cannot be used for production of the main products in the same workflow (brunch wood, wood remains from bucking and crosscutting). Wood waste is used in pulp and paper production, production of

wood-based panels, production of composts in forestry and agriculture, and in fuel and power purposes [5–8].

When calculating the volumes of wood waste, waste generation norms of 0.12 for pine and 0.16 for spruce have been used [5, 8]. The coefficients have been applied to the cutting forest area in middle age, ripening, mature and over mature forests. The proportion of pine and spruce has been counted in terms of mature and over mature species stock in view of forest districts. Also, the estimation of wood waste generation has been conducted in terms of data on revealed forest area that allows forecasting potential reserve of wood waste in case of development and increase of wood harvesting. The cutting area has been estimated in terms of liquid forest resources with all cutting types for coniferous species (pine, spruce) on Arctic territories. The information base has been formed in terms of regulations of forest districts and territory forest plans [11, 13, 15, 16].

The cartographic approach has been used for estimation of the logistic schemes; presence of railroads, ways to marine terminals, haul roads sufficiency (of all-year and seasonal access) of the forest districts have been analyzed.

*Results and discussion*

Lands covered with forests occupy 69.2 % of the Murmansk Region. The total square of forest resources of the Murmansk Region is 9.5 million ha including forest covered area of 5.1 million ha. The total standing timber volume is 226. mln $m^3$. The total mean timber increment in the forest lands is 2.45 mln $m^3$. Murmansk Region is characterized by low exploitation stock of timber in mature forests. Estimated annual cutting area is used not more than in 24 %. Lack of transport availability for small consumers and high prime cost of forest production appear to be the main reason of its lack of competitiveness. Extensive reclaiming of Murmansk Region territories in recent past has affected normal life of the ecosystems. The most of the Murmansk Region forest area belongs to the category of protecting forests (64.8 %) where business activities are prohibited.

The total area of the Republic of Karelia is 4.2 mln ha, forest lands occupy 2.2 mln ha, protecting forests are located on the territory of 1.4 mln ha (64.7 %) [1]. Major tenants of forest parcels for timber harvesting are OJSC “Segezha Pulp and Paper Mill”, LLC “TPK Yurma”, LLC “Vega”, LLC “Pitkyaranta-les”. Parcels of forest land are also leased for construction, reconstruction and exploitation of infrastructural facilities, development of mineral deposits, recreational activities and other types of forest exploitation authorized by forest legislation.

The Arctic zone forest territories of the Arkhangelsk Region are involved in dynamic business activities; timber harvesting and processing are implemented by the Titan Group and JSC “Arkhangelsk pulp and paper mill”. At that, major part of the territory belongs to protected forest areas. Forest area of the regarded territory is 7.4 mln ha only, protecting forests occupy 4.7 mln ha or 63.4 % [15].

The total forest area in the Nenets Autonomous Okrug is 3.2 million ha, only 0.2 million ha belongs to the Nenets forest district. There are no commercial forests in the district. The main part of the Okrug forests (3.0 mln ha) are located on agricultural lands used as deer pasture and assigned to deer farms. The territory of the Okrug is located in the zones of tundra (77 %), forest-tundra (15 %), and the sub-zone of pre-tundra taiga on the South-West (8 %). Forest cover of the

Okrug is estimated as 18 % but is highly varied through the territory. Forest cover on the South-West, where the Nenets forest district is located, comes up to 40 % but goes down to 1-2 % on the Barents Sea shores, on the Kanin Peninsula and in the Bolshezemelskaya tundra. The northern forest border to the East of the Pechora river spreads almost along the boundaries of the Nenets Autonomous Okrug. The interests of geological prospecting and oil and gas organizations are focused in the zone where broken forest tape spreads. The forest plan of the Nenets Autonomous Okrug considers the requirements of conservation of pre-tundra forest ecosystems, conditions of native traditional management of natural resources, forest law extension on the forests of the Okrug used for northern deer farming, development of mineral deposits, mineral geological research and other types of forest exploitation [11].

Estimated cutting area and wood waste potential of coniferous species within the identified and cutting fund in the Arkhangelsk region in view of forest districts are presented in the Table 1.

Table 1

**Estimated cutting area (annual allowable volume of timber removal) of coniferous species (pine, spruce) in middle-age, ripening, mature, over-mature forests while thinning in the Arkhangelsk region**

| Forest district | Cutting area, th $m^3$ | Wood waste*, th $m^3$ |
|---|---|---|
| Arkhangelskoye | | |
| identified fund | 621,6 | 97,5 |
| cutting fund | 145,2 | 22,8 |
| Onezhskoye | | |
| identified fund | 3996,0 | 585,0 |
| cutting fund | 1229,1 | 179,9 |
| Severodvinskoye | | |
| identified fund | 821,6 | 98,6 |
| cutting fund | 233,7 | 28,0 |
| Mezenskoye | | |
| identified fund | 237,5 | 31,1 |
| cutting fund | 2,3 | 0,3 |
| Total | | |
| identified fund | 5676,7 | 812,2 |
| cutting fund | 1610,3 | 231,0 |

*the calculation was made according to the standards of waste generation for pine – 0.12 and for spruce – 0.16.

Total volume of coniferous species in the Murmansk region is estimated as 191.63 mln $m^3$ (pine – 108.59 mln $m^3$, spruce – 83.04 mln $m^3$). Using the same methodological approach, the potential volume of wood waste can be estimated as 36.3 mln $m^3$.

Wood waste volume in terms of the cutting area of liquid forest fund with all cutting types in forest districts of the Arkhangelsk Region and the Republic of Karelia are presented in Table 2.

Table 2

**Calculation of wood waste of coniferous species (pine, spruce) in terms of the cutting area of liquid forest fund with all cutting types in forest districts of the Arkhangelsk region and the Republic of Karelia**

| Forest district | Cutting area, th $m^3$ | Wood waste, th $m^3$ |
|---|---|---|
| Arkhangelskoye | 160,2 | 24,6 |
| Onezhskoye | 849,0 | 124,2 |
| Severodvinskoye | 390,3 | 46,8 |
| Mezenskoye | 107,2 | 14,0 |
| Belomorskoye | 358,1 | 47,5 |
| Kemskoye | 180,8 | 24,4 |
| Loukhskoye | 704,9 | 98,1 |
| Total | 2750,5 | 379,6 |

Generally, the volume of wood waste calculated on cutting forest fund in terms of the concerned territory is presented in the Table 3.

Table 3

**Calculation of potential coniferous species (pine, spruce) wood waste on the Arctic zone mainland of the European Russian North**

| Territory | Cutting fund, th m3 | Volume of wood waste, th $m^3$ |
|---|---|---|
| Murmansk Region | 935,8 | 120,6 |
| Republic of Karelia — Belomorskiy, Loukhskiy, Kemskiy municipal rayons | 154,6 | 20,8 |
| Arkhangelsk Region – Mezenskiy, Primorskiy, Onezhskiy municipal rayons | 1610,3 | 231,0 |
| Nenets Autonomous Okrug* | – | – |
| Total | 2700,7 | 372,4 |

*doesn't participate due to lack of commercial forests and badly developed road infrastructure.

The presentation of data on the potential wood waste calculated in terms of the revealed and cutting forest fund while thinning the forests refers the potential user to the organizations responsible for the forest management activities – forest districts. Calculation of the rate in terms of cutting liquid fund can be considered as forest management activities within long-term lease of forest plots and integration of wood waste recycling business.

The possibilities of wood waste use are regulated by territory features of forest designation as protecting and commercial, geographical zone features and possibility of accessibility by transport. An effective share of logistics in wood waste delivery to consumers is considered determinant in the concerned example [20]. Road density rates in municipalities are described by different degree of attractiveness for special business development. Hard-surface roads length varies from 53 km in the Terskoye forest district to 457 km in the Kandalakshskoye forest district. All-season roads are evaluated from 87 km in the Murmansk forest district to 2250 km in the Kandalakshskoye forest district. The most length of winter roads is in the Pechengskoye forest district – 1243 km. Road density is low and amounts to 0.33 km in the Terskoye forest district, 0.42 km in the Lovozerskoye forest district,

0.75 km – Murmanskoye, 0.78 km – Kolskoye. Road density over 3 km per thousand ha is observed only in the Zasheykovskoye (3.26 km) and Kandalakshskoye (3.03) forest districts [16]. The territory of the Nenets Autonomous Okrug cannot be regarded attractive due to lack of commercial forests and badly developed road infrastructure. The territories of the Arkhangelsk Region and the Republic of Karelia are attractive for wood waste use development due to presence of roads, railroads and ways to seashores.

The transport infrastructure data are presented in the Table 4. It should be mentioned that all the territories have ways to seashores with harbors and port stations.

Table 4

**Forest area and transport availability**

| Territory | Forest area, th ha | | Road density, km/1 th ha of total area | Railroad length, km |
|---|---|---|---|---|
| | Total | Coniferous species | | |
| Murmansk Region (10 forest districts) | 9455,4 | 3732,0 | From 0.33 to 3.26 through forest districts | 350 |
| Arkhangelsk Region forest districts | | | | |
| Arkhangelskoye | 768,8 | 230,3 | 0,7 | 116 |
| Onezhskoye | 1288,8 | 802,3 | 1,66 | 450 |
| Severodvinskoye | 454,4 | 257,1 | 0,81 | 150,2 |
| Mezenskoye | 1574,6 | no data available | 0,3 | 0 |
| Karelia forest districts | | | | |
| Belomorskoye | 653,8 | 432,0 | 2,4 | 106 |
| Kemskiy municipal rayons | 326,6 | 162,5 | 1,0 | 117 |
| Loukhskoye | 1176,3 | 724,3 | 2,6 | 110 |
| Nenets Autonomous Okrug | 3200 | no data available | 0 | 0 |

First of all, the lack of truck haul roads for wood waste procurement on wood lots directly is a deterrent for the development of widespread use of wood waste. Such conditions require combining wood waste procurement with other forest exploitation activities, timber harvesting mainly, and with environmental services delivery [10]. An application of new technologies in timber harvesting and up-to-date waste recycling equipment should be also considered [7, 14].

In Norway the wood waste management is supplied by the government. For example, the Tschudi Shipping Company AS has received government grant to establish wood waste processing on mobile facilities (sea vessels). The available experience of the Tschudi Shipping Company AS encourages considering the possibilities of wood waste recycling development on floating mobile units like barges for the rivers and seagoing vessels for the ocean. Initial findings in the NORUSS project indicate that the optimal barge size is a factory that can handle 50 000 dry tons while the optimal vessel size should be able to handle 100 000 dry tons. The study indicates that available wood waste resources is sufficient to support construction of such a floating unit.

The Norwegian Tschudi Shipping Company AS intend to become a world leader in manufacturing of chemical wood processing products (wood pellets, molasses, wood compost) on ship mobile units [3]. The company studies the possibili-

ties of timber and wood waste use in various fields from biofuel to compost fillers. The offshore vessels can contain units for production of sugar and pellets, pellets only or substrat and sugar. The motivation behind introducing technology for extracting sugars before making pellets of the remaining wood pulp is that the extracted sugars will be sold at a considerably higher price than their value as part of pellets, thereby making the project economics more robust. Most of the ash will be extracted with the sugars. Ash content below 0.1 % is possible. The energy content of pellets also increases when sugars are extracted. Sugar extraction strengthens the project economics, as well as securing a better pellets product. The pellets plant is a non-conventional black pellets plant, consisting of bark furnace and hot water boiler for energy to the dryer, delivered by Opcon, Sweden, belt dryer, delivered by Laxhuber Stela, Germany, pellets unit, with hammer mills, pellets mills and coolers, delivered by CPM Europe, Netherlands. The pellets plant can make black pellets from wood pulp after sugar extraction, and can produce white pellets even if the Pulp & Sugar Plant is not in operation. The processing line for the extraction of sugars is designed according to a method developed by Glommen Skog (patent approved in Russia and USA and pending in EU), and based on research in Norway. The "extra" investment costs for the first Pulp & Sugar Plant is practically covered by a Norwegian state grant, thereby mitigating any investor risk related to it.

Consequently, the Norwegian company has received a competitive advantage which main distinct feature is an effective sea logistics. Application of such floating factories considerably extends the boundaries of economically available wood resources. This is especially relevant in the area of the Arctic zone inland forests which possess significant wood resources and poorly developed road net.

The Norwegian company uses timber hydrolysis technologies which have been lost in Russian economy over the years of reforms. A competitive advantage of the technologies is the variety of products and possibilities of production management according to market conditions. The present-day Russian practice on the researching territories reflects the focus of wood waste processers on the markets of the European Union countries to supply with wood pellets and to provide municipal boiler-houses with wood.

The study of competitive advantages of Russian and Norwegian practices is presented in the Table 5.

Table 5

**Competitive advantages of wood waste commercial use**

| Experience | Competitive advantage |
|---|---|
| Norwegian | 1. Mobility of offshore vessels with wood waste processing, independence from land road infrastructure<br>2. Leading position in production of floating factories for wood waste processing<br>3. Extended range of value-added production<br>4. State support of innovation commercial projects |
| Russian | 1. Presence of significant amount of wood resources<br>2. Dynamic increase of wood fuel supplies to the European Union countries<br>3. State support in grants to cover export transport costs<br>4. Wood fuel distribution guarantees for municipal use |

*Conclusions*

The obtained research results allow considering the potential of coniferous wood waste on the analyzed territories in terms of: cutting forest fund in middle-age, ripening, mature, over-mature forests while thinning the forests; the cutting area of liquid forest fund with all cutting types. A business strategy of wood resources mastering should be chosen according to commercial interest.

The estimation of existing forest resources of the Arctic zone mainland of the European Russian North suggests an attractive potential of wood waste regardless of uneven development of road infrastructure, especially of haul roads. Concurrently the existing transport landscape (sufficient roads, railways and way to the seashore) is rather attractive with the possibilities of building for large-scale mastering of the resources (either as a result of commercial exploitation or in terms of thinning the forests).

The experience of foreign companies and state support are attractive for development of wood waste recycling in case of knowledge and business integration in terms of the territory development, providing forest exploitation efficiency and increase of forestry competitiveness. Floating factories could be a realistic alternative for forest resources use.

REFERENCES

1. Angelstam P., Naumov V., Elbakidze M. Transitioning from Soviet Wood Mining to Sustainable Forest Management by Intensification: are Tree Growth Rates Different in Northwest Russia and Sweden? *Forestry*, 2017, vol. 90, no. 2, pp. 292–303.

2. *Decree of the President of Russia dd. 27.06.2017 No. 287* "*On the Land Territories of the Arctic Zone of the Russian Federation".* Available at: http://www.kremlin.ru (accessed 10.04.2019).

3. Falck H. *Tschudi Shipping Company: Logistics In High North*. INTSOK. Saint Petersburg, 2011.

4. Helmisaari H.S., Hanssen K.H., Jacobson S., Kukkola M., Luiro J., Saarsalmi A., Tamminen P., Tveite B. Logging Residue Removal after Thinning in Nordic Boreal Forests: Long-Term Impact on Tree Growth. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, no. 11, pp. 1919–1927.

5. Korobov V.V., Rushnov N.P. *Processing of the Low-Grade Raw Materials (Problems of Non-Waste Technology).* Moscow, 1991. 288 p.

6. Mikhaylov K.L., Gushchin V.A., Tarakanov A.M. Collection and Processing of Logging Residual and Firewood in a Felling Area. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 6, pp. 98–109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.6.98; URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/3f1/98109.pdf

7. Mikhajlov G.M., Serov N.A. *The Ways of Improvement of the Secondary Wood Raw Material*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 222 p.

8. Mosyagin V.I. *Problems of the Forest Sector Greening*. Saint Petersburg, 1999. 375 p.

9. Nordström E.-M., Nieuwenhuis M., Başkent E.Z., Biber P., Black K., Borges J.G., Bugalho M.N., Corradini G., Corrigan E., Eriksson L.O., Felton A., Forsell N., Hengeveld G., Hoogstra-Klein M., Korosuo A., Lindbladh M., Lodin I., Lundholm A., Marto M., Masiero M., Mozgeris G., Pettenella D., Poschenrieder W., Sedmak R., Tucek J., Zoccatelli D. Shifting from Even-aged Management to Less Intensive Forestry in Varying Proportions of Forest Land in Finland: Impacts on Carbon Storage,

Harvest Removals, and Harvesting Costs. *European Journal of Forest Research*. DOI: 10.1007/s10342-019-01189-z

10. Nunez-Mir G.C., Desprez J.M., Iannone B.V., Clark T.L., Fei S. An Automated Content Analysis of Forestry Research: Are Socioecological Challenges Being Addressed? *Journal of Forestry*, 2017, vol. 115, no. 1.

11. *On the Forest Management Plan of the Nenetskiy Autonomous Okrug. Order by the Governor of the Nenetskiy Autonomous Okrug dd. 20.11.2015 No.* 95-*pg.* Available at: https://www.lawmix.ru/zakonodatelstvo/952343 (accessed 07.05.2019).

12. Pretzsch H., Miren del Río, Biber P., Arcangeli C., Bielak K., Brang P., Dudzinska M., Forrester D. I., Klädtke J., Kohnle U., Ledermann T., Matthews R., Nagel J., Nagel R., Nilsson U., Ningre F., Nord-Larsen T., Wernsdörfer H., Sycheva E. Maintenance of Long-term Experiments for Unique Insights into Forest Growth Dynamics and Trends: Review and Perspectives. *European Journal of Forest Research*, 2019, vol. 138, no. 1, pp. 165–185.

13. *Reglaments of the Forest Districts* (*Republic of Kareliya*). Available at: https://minprirody.karelia.ru/lesnoe-hozjajstvo/reglamenty-lesnichestv (accessed 07.05.2019).

14. Spinelli R., Lombardini C., Marchi E., Aminti G. A Low-investment Technology for the Simplified Processing of Energy Wood from Coppice Forests. *European. Journal of Forest Research*, 2019, vol. 138, no 1, pp. 31–41.

15. *The Forest Districts Reglaments (Arkhangelsk Region).* Available at: http://old.dvinaland.ru.s3.amazonaws.com/dvinaland.ru/power/departments/deples/acts/lesregl.html (accessed 07.05.2019).

16. *The Forest Management Plan of the Murmansk Region.* Available at: https://mpr.gov-murman.ru/documents/lesplan (accessed 07.05.2019).

17. *The Strategy of Advancement of the Forest Complex of the Russian Federation for the Period to Until 2030. Resolution of the Russian Federation Government dd. 20.09.2018 No. 1989.* Available at: http://static.government.ru (accessed 10.04.2019).

18. *The Strategies of the Arctic Zone of the Russian Federation Advancement and Provision of National Security for the Period to Until 2010.* Available at: http://government.ru (accessed 07.05.2019).

19. Victor D., Yueh L. The New Energy Order. *Foreign Affairs*, 2010, vol. 89, no. 1, pp. 61–73.

20. Yakusheva T.V. Integrated Assessment of the Availability of Forest Resources Considering the Development of Forest Transport Infrastructure in the North-West Federal District. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2014, no. 5, pp. 113–117. URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b1b/3-_-kompleksnaya-otsenka-dostupnosti-lesnykh-resursov.pdf

## ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КАК КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА (НА ПРИМЕРЕ МАТЕРИКОВОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ)

***Х. Фальк*[1]**, *гл. исполнительный дир.*
***К.Л. Михайлов*[2]**, *канд. экон. наук, ведущий науч. сотр.; ORCID:0000-0001-9296-3266*
***Н.А. Демидова*[2]**, *канд. биол. наук, зам. д-ра по науке; ResearcherID: T-1151-2019 , ORCID: 0000-0003-2673-2309*
[1]Tschudi Bio Company AS, Strandveien 50,1366 Lysaker, Norway;
e-mail: hf@tschudishipping.no
[2]Северный НИИ лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: sevniilh@sevniilh-arh.ru

Предметом исследования является рассмотрение современного передового опыта коммерческого использования древесных отходов в Арктической зоне для повышения конкурентоспособности лесного хозяйства. Цель исследования – уточнение потенциала древесных отходов от различных видов рубок на территории Европейского Севера России и возможности использования его для производства востребованных на рынке продуктов. В результате проведенного анализа хозяйственной деятельности лесозаготовительных предприятий на этой территории выявлено, что при заготовке древесины на лесосеке практически не использованными остаются 16…22 % древесных отходов от общего объема заготовленной и вывезенной для реализации древесины. Только в Архангельской области ежегодно на лесосеке остаются от 1,6 до 2,2 млн м$^3$ лесосечных отходов и дров, пригодных для дальнейшей переработки. По расчетам потенциал древесных отходов от рубок ухода в защитных лесах материковой части Арктической зоны Европейского Севера России только по хвойным породам составляет около 1 млн м$^3$ ежегодно. Расчет ресурсов проведен на основе данных о имеющемся лесном фонде; вырубаемом фонде в средневозрастных, приспевающих, спелых и перестойных лесных насаждениях при уходе за лесами; расчетной лесосеке по ликвидному лесному фонду при всех видах рубок. Дифференциация расчетов позволяет заинтересовать потенциального лесопользователя в сотрудничестве с лесничествами, ответственными за выполнение лесохозяйственных работ. Полученные данные дают возможность планировать перспективную деятельность по лесопользованию в рамках долгосрочной аренды лесных участков и интеграции с бизнесом по утилизации образующихся древесных отходов. Одной из значимых причин, сдерживающих утилизацию отходов на изученной территории, является недостаточная и неравномерно развитая транспортная сеть. Однако возможности выхода к морскому побережью в регионе делают актуальным применение технологий химической переработки отходов на морских транспортных средствах. Такой опыт рассмотрен на примере норвежской компании «Tschudi Shipping Company AS», внедряющей инновационные технологии переработки древесных отходов для производства продукции и получения прибыли. Расчеты коммерческой привлекательности этой технологии переработки древесных отходов проанализированы на примере Архангельской области. Приведен сравнительный анализ конкурентных преимуществ современного норвежского и российского опыта обращения с древесными отходами.

***Для цитирования:*** Фальк Х., Михайлов К.Л., Демидова Н.А. Потенциал древесных отходов как конкурентное преимущество лесного хозяйства (на примере материковой части арктических территорий Европейского Севера России) // Лесн. журн. 2019. № 6. С. 280–289. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.6.280

***Финансирование:*** Публикация подготовлена по результатам исследования в рамках гранта Научно-исследовательского совета Норвегии для реализации R&D проекта «Плавучий завод по производству, хранению и доставке биоугля», а также по результатам исследований, выполненных в рамках государственного задания ФБУ СевНИИЛХ на проведение прикладных научных исследований по теме «Разработка экономико-организационных подходов повышения конкурентоспособности лесного хозяйства в условиях долгосрочной аренды лесных участков таежной зоны Европейского Севера России», регистрационный № АААА-А19-119012590196-8.

*Ключевые слова:* лесное хозяйство, древесные отходы, конкурентные преимущества, арктические территории, логистика, российский опыт использования древесных отходов, норвежский опыт использования древесных отходов.

Поступила 07.01.19 / Received on January 7, 2019

## 90-ЛЕТИЮ АКАДЕМИКА Н.А. МОИСЕЕВА

13 декабря 2019 г. исполняется 90 лет со дня рождения Николая Александровича Моисеева, академика Российской академии наук (РАН), заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного лесовода РСФСР, иностранного члена Шведской королевской академии наук сельского и лесного хозяйства, Финской академии наук и письменности, Итальянской лесной академии, члена Российской академии естественных наук, почетного члена Международной академии наук высшей школы, почетного доктора Дрезденского технического университета, Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета и Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Родился Николай Александрович в с. Якутино Грачевского района Оренбургской области. В феврале 1930 г. его деда (по отцу) раскулачили и вместе со всей семьей сослали в Черевковский район Архангельской области. Там, в глухом таежном пос. Тальцы (потом Усть-Заруба) на р. Ерга (недалеко от верховья р. Пинега) и прошли первые пятнадцать лет его жизни. Родители его работали в созданном переселенцами Верхне-Ерогодском лесопункте.

В 1945 г. после гибели отца в 1944 г. на Карело-Финском фронте мать вместе с ним вернулась в Оренбургскую область к сестре-учительнице в дер. Гавриловка Державинского района (имение поэта Гаврилы Державина). После 7-летней школы он поступил в Бузулукский лесной техникум, с отличием закончил его в 1949 г. в числе пятипроцентников был зачислен на лесохозяйственный факультет Ленинградской ордена Ленина лесотехнической академии (ЛТА) им. С.М. Кирова. Еще во время учебы (в летние каникулы) работал таксатором в лесоустроительных экспедициях по устройству лесов Бузулукского лесхоза Оренбургской области, Беломорского лесхоза Карелии, в научной экспедиции ЛТА по обследованию возобновления леса на концентрированных вырубках знаменитого Монзенского леспромхоза Вологодской области. С третьего курса ЛТА стал председателем научного студенческого кружка по лесоводству, на заседаниях которого выступал с докладами по результатам работ в экспедициях.

По окончании ЛТА с отличием в 1954 г. был оставлен в аспирантуре на кафедре лесоустройства. Тема кандидатской диссертации, которую он успешно защитил в 1958 г., – «Организация лесного хозяйства в порослевых дубравах Куйбышевской области». После аспирантуры в конце 1957 г. был приглашен академиком Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук (ВАСХНИЛ) И.С. Мелеховым в созданный им в Архангельске Институт леса

и лесохимии АН СССР, где прошел последовательно все ступени: младшего научного сотрудника, заведующего отделом экономики лесного хозяйства и лесной промышленности, ученого секретаря, заместителя директора по научной работе и директора института (1962–1965 гг.) после назначения И.С. Мелехова заместителем председателя Государственного комитета СССР по лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и лесному хозяйству.

С 1965 до 1970 г. работал во Всесоюзном НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) старшим научным сотрудником, заведующим организованной им лаборатории прогнозирования и перспективного планирования лесного хозяйства, с 1970 по 1977 г. – начальником управления науки, передового опыта и внешних сношений – членом коллегии государственного комитета СССР по лесному хозяйству, с апреля 1977 г. по декабрь 1996 г. – директором ВНИИЛМ. С 1997 до 2017 г. – заведующий кафедрой экономики и управления Московского государственного университета леса (МГУЛ), с 2017 г. – главный научный сотрудник ВНИИЛМ.

На протяжении всей творческой работы Н.А. Моисеев успешно и органично сочетает научную, педагогическую, организационную, административную, общественную и международную деятельность. По своему складу Николай Александрович – одновременно и ученый, и организатор. Именно благодаря этим способностям ему удается сделать успешной и свою творческую работу, и работу возглавляемых им коллективов (от тематических рабочих групп, лаборатории, кафедры до таких крупных научных учреждений, как ВНИИЛМ – головного института отрасли, которым он руководил почти 20 лет, и лесных научно-исследовательских институтов отрасли всех республик СССР). В течение 25 лет был бессменным председателем совета директоров лесных институтов. Будучи одновременно с 1987 по 1996 г. академиком-секретарем отделения лесного хозяйства вначале ВАСХНИЛ, затем Российской сельхозакадемии, он руководил межведомственным Научным советом по проблемам леса и агролесомелиорации, в функции которого входила координация научных исследований по лесному хозяйству. По заданию руководства Госкомлеса СССР и ВАСХНИЛ ведущими учеными научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений под его руководством была разработана программа научных исследований по лесному хозяйству на 1990–2000 гг. (программа «Лес»), которая являлась руководством для планирования отраслевых исследований в этот период. Приказом Миннауки Николай Александрович был назначен в 1996 г. руководителем подпрограммы «Российский лес» федеральной целевой научно-творческой программы приоритетных исследований по разделу «Экология и природопользование». В течение 10 лет (1976–1985 гг.) он был членом исполкома Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), а затем (1986–1990 гг.) членом его международного совета, при этом он расширил участие отечественных институтов как юридических членов в составе этой организации, способствуя поднятию престижа нашей лесной науки на мировом уровне. По его инициативе были организованы и проведены в России крупные международные конференции в рамках ИЮФРО с широким участием ведущих ученых зарубежных стран по актуальным проблемам управления лесами в условиях рыночной экономики. Труды этих конференций, опублико-

ванные в России и за рубежом, стали ценной информацией для отечественных ученых и специалистов в ходе проводимых реформ.

Основное направление творческой деятельности Н.А. Моисеева – взаимосвязанные проблемы экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности, лесоустройства, управления лесами, государственной лесной политики и лесного законодательства в лесном секторе России.

Еще в своей докторской диссертации (1974 г.) он изложил теоретические основы долгосрочного прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов. Им разработана принципиально новая теория воспроизводства лесных ресурсов на основе неистощительного многоцелевого лесопользования, которая является фундаментальной основой решения основных проблем экономики лесного хозяйства и служит базисом для его предложений по организации и планированию устойчивого пользования и управления лесами, экономического обоснования программ разного уровня управления лесами и мероприятий в их составе, источников и системы финансирования лесного хозяйства. Н.А. Моисеев принимал активное участие в разработке предложений по переводу лесного хозяйства на рыночные отношения, по совершенствованию экономического механизма управления лесами и лесного законодательства. Именно он явился организатором создания первой рабочей группы на общественных началах с участием ученых и специалистов различных отраслей по разработке национальной лесной политики России, которая обсуждалась на разных уровнях и была принята за основу.

Как член оргкомитета Общенационального экологического форума по разработке экологической доктрины России, Николай Александрович принял активное участие в формировании ее раздела по экономическому механизму природопользования и экологической безопасности России, за что в 2003 г. был удостоен благодарности президента России В.В. Путина.

Н.А. Моисеев не ограничивается только написанием своих научных трудов (к юбилею число публикаций составило 600, в том числе около 40 книг, монографий, учебников и брошюр), он активно представляет направления и способы решения назревших проблем лесного сектора в своих выступлениях на коллегиях Минприроды и Минпромнауки РФ, на заседаниях Совета лесопромышленников и лесоэкспертов России, на всероссийских съездах лесничих (лесоводов), в Центре стратегических разработок Минэкономразвития РФ, на пленумах ЦК профсоюза лесных отраслей, в Государственной Думе и Совете Федерации. Ряд лет он был членом Совета по развитию лесного комплекса при Правительстве Российской Федерации.

Николай Александрович – активный участник международных лесных конгрессов и конгрессов ИЮФРО с 1971 г. На XV конгрессе ИЮФРО в 1976 г. (Осло, Норвегия) он возглавлял многочисленную советскую делегацию лесоводов, был первым председателем советско-американской рабочей группы по сотрудничеству в области лесного хозяйства.

В последние годы много внимания уделяет воспитанию кадров для науки и производства. Под его руководством подготовлены более двух десятков кандидатов и докторов наук, им написаны учебники по экономике лесного хозяйства и лесоустройству, которые широко используются в образовательном процессе МГУЛ и других лесных вузов страны.

Н.А. Моисеев активно проявляет себя и в общественной сфере, выступая по каналам радио и телевидения, поднимая острые, злободневные вопро-

сы по проблемам взаимоотношений леса и человека, государства и бизнеса. Его яркие доклады в средствах массовой информации привлекают внимание широкой общественности.

За свои заслуги и научные достижения Николай Александрович удостоен ордена Трудового Красного Знамени (1976) и ряда медалей, почетных званий заслуженного лесовода РСФСР (1979) и заслуженного деятеля науки РФ (1999), благодарности президента России (2003). Постановлением Президиума Россельхозакадемии от 14.10.2003 за цикл работ «Основы прогнозирования использования и воспроизводства лесных ресурсов России» ему присуждена золотая медаль имени проф. Г.Ф. Морозова. Министерство сельского хозяйства РФ наградило его золотой медалью «За вклад в развитие АПК», Международный союз лесных исследовательских организаций – высшей наградой IUFRO – «За выдающиеся заслуги». Совет народных депутатов в 2001 г. присвоил ему звание Почетного гражданина Пушкинского района Московской области.

Юбиляр неутомимо продолжает научно-исследовательскую деятельность, активно участвуя в работе ВНИИЛМ, МГУЛ и РАН.

Редколлегия «Лесного журнала», друзья и коллеги от имени всего лесного сообщества ученых и специалистов России поздравляют Николая Александровича Моисеева с юбилеем, желают ему творческого долголетия.

***Е.В. Кудряшова, В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, Д.В. Трубин,***
***С.В. Ярославцев, В.С. Шалаев, Н.А. Яхонтов, А.А. Мартынюк***

**THE 90TH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN N.A. MOISEEV**

***E.V. Kudryashova, V.I. Melekhov, N.A. Babich, D.V. Trubin,***
***S.V. Yaroslavtsev, V.S. Shalaev, N.A. Yakhontov, A.A. Martynyuk***

**Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2019 г.**

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

**Angelstam P., Manton M., Khaulyak O., Naumov V., Pedersen S., Stryamets N., Törnblom J., Valasiuk S., Yamelynets T.** Knowledge Production and Learning for Sustainable Forest Landscapes: The European Continent's West and East as a Laboratory. № 1-9.

**Kutakova N.A., Morozkova I.A., Vasiljeva N.N., Bashkina I.E., Aleksandrova Yu.V.** Phenolic Compounds in Barberry and Wild Rose Fruits. № 5-115.

**Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan.** A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam. № 3-64.

**Беляева Н.В., Нгуен Тхи Тху Хыонг, Данилов Д.А., Грязькин А.В.** Развитие нижних ярусов растительности под пологом тропического леса в условиях Вьетнама. № 6-39.

**Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Ершов П.В.** Генотипическая обусловленность пигментного состава хвои плюсовых деревьев ели европейской. № 1-63.

**Бессчетнова Н.Н., Кулькова А.В.** Содержание запасных питательных веществ в клетках тканей годичных побегов представителей рода ель (Picea L.) в условиях Нижегородской области. № 6-52.

**Брынцев В.А., Лавренов М.А.** Селекционно-генетический анализ лиственниц сибирской и Сукачева, интродуцированных в Москву и Подмосковье. № 4-9.

**Ведерников Е.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Толкач О.В.** Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края. № 3-32.

**Велисевич С.Н., Попов А.В.** Структура разнообразия по вегетативной и генеративной структуре кроны кедра сибирского на плантации с разреженной посадкой. № 5-35.

**Волчатова И.В.** Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий. № 6-79.

**Вронская О.О., Седельникова Л.Л.** Морфобиологический анализ представителей рода *Lilium* (Liliaceae) в северной лесостепи Западной Сибири. № 4-74.

**Горбунова В.Д., Менщиков С.Л.** Содержание элементов питания в листьях белых берез в интрозональных условиях на Северном Урале. № 6-132.

**Горкин А.И.** О возможности переработки сосновой живицы на местах ее заготовки. № 1-96.

**Грибачева О.В.** Современное состояние полезащитной полосы с участием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.). № 4-34.

**Грязькин А.В., Беляева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Ву Ван Хунг.** Изменчивость толщины и массы коры березы по длине ствола. № 2-32.

**Дебков Н.М.** Динамика радиального прироста кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour при различных режимах рубок ухода. № 6-9.

**Дебков Н.М., Панёвин В.С.** Искусственное восстановление кедровых лесов Томской области. № 2-9.

**Дмитриев Е.В., Козуб В.А., Мельник П.Г., Соколов А.А., Сафонова А.Н.** Классификация и оценка состояния смешанных древостоев по аэроизображениям сверхвысокого пространственного разрешения. № 5-9.

**Загурская Ю.В., Сиромля Т.И.** Сравнительный анализ элементного химического состава побегов *Padus avium* из техногенно нарушенных экотопов. № 5-105.

**Захаров А.Б., Бессчетнов В.П.** Аномалии ветвления березы (*Betula*) в защитных лесных полосах автомагистралей. № 5-95.

**Захарова Е.И.** Глубины зимнего покоя древесных представителей семейства *Fabaceae* Lindl., интродуцированных в Нижегородской области. № 1-87.

**Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е.** Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). № 3-9.

**Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И.** Противопожарная профилактика лесных объектов. № 3-43.

**Ильинцев А.С., Богданов А.П., Быков Ю.С.** Динамика физических свойств

подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании. № 5-70.

**Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н.** Опыт интенсивного выращивания однолетних сеянцев сосны обыкновенной в Павлодарской области Республики Казахстан. № 6-104.

**Кищенко И.Т.** Влияние температуры воздуха на сезонный рост хвойных лесообразующих видов в таежной зоне (Республика Карелия). № 4-84.

**Кищенко И.Т.** Формирование древесины ствола *Picea abies* (L.) Karst. в разных типах сообществ таежной зоны. № 1-32.

**Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.** Отток и распределение $^{14}$С-ассимилятов у ели при выборочных рубках в северотаежных фитоценозах. № 2-40.

**Лебедев В.М., Лебедев Е.В.** Эколого-физиологические особенности реакции сосны обыкновенной на уровень плодородия почвы как показатель адаптации к условиям среды. № 6-92.

**Макаров В.П., Малых О.Ф., Горбунов И.В., Пак Л.Н., Зима Ю.В., Банщикова Е.А., Желибо Т.В**. Влияние пожаров на флористическое разнообразие сосновых лесов Восточного Забайкалья. № 1-77.

**Макаров С.С., Багаев Е.С., Коренев И.А.** Проблемы использования и воспроизводства фитогенных пищевых и лекарственных ресурсов леса на землях лесного фонда Костромской области. № 6-118.

**Машкина О.С., Шабанова Е.А., Вариводина И.Н., Гродецкая Т.А.** Полевые испытания размноженных *in vitro* клонов осины (*Populus tremula* L.): рост, продуктивность, качество древесины, генетическая стабильность. № 6-25.

**Мошников С.А., Ананьев В.А., Матюшкин В.А.** Особенности аккумуляции порубочных остатков в спелых сосняках средней тайги (на примере Республики Карелия). № 1-40.

**Мухин А.К.** Многолетняя динамика заболачивающихся сосняков в условиях влияния водохранилища. № 3-17.

**Нарзяев В.В., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е.** Изменчивость вегетативного потомства плюсовых деревьев кедра сибирского, аттестованных по стволовой или семенной продуктивности. № 4-22.

**Новосёлов А.С.** Смолопродуктивность сосны на объекте гидротехнической мелиорации после несплошной заготовки древесины. № 2-67.

**Полякова О.И., Жук Е.А., Горошкевич С.Н.** Семеношение и структура шишек у клонов мутационных ведьминых метел кедра сибирского. № 5-25.

**Примаков Н.В.** Состояние лесных фитоценозов склоновых земель Краснодарского края. № 3-55.

**Ревяко И.И., Манченко В.С., Ревяко Е.И**. Декоративность *Aésculus hippocástanum* в условиях урболандшафта «Новочеркасск». № 1-52.

**Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И.** Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агролесомелиоративных ландшафтов Каменной Степи. № 6-62.

**Семёнов М.А., Высоцкий А.А., Пащенко В.И.** Прогноз адаптивных приспособлений в лесном хозяйстве в связи с возможными климатическими изменениями. № 5-57.

**Семенютина А.В.**, **Ноянова Н.Г.** Региональная специфика озеленения малых городов южной сухостепной зоны. № 6-146.

**Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Беляев В.В., Аксенов П.А.** Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). № 2-78.

**Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А.** Изменчивость морфоструктурных признаков ели разного возраста в условиях севера Архангельской области. № 2-56.

**Тихонова Н.А., Тихонова И.В.** Водоудерживающая способность хвои в популяциях основных лесообразующих видов хвойных в лесах таежной зоны Сибири. № 5-83.

**Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Лепёхин А.А.** Опыт реконструктивных рубок в лесных полосах Каменной Степи. № 5-48.

**Хамитов Р.С., Корчагов С.А., Мерзленко М.Д., Ковязин В.Ф., Кузнецов Е.Н.** Связь диссимметрии шишек сосны кедровой сибирской с формированием в них семян. № 4-66.

**Цандекова О.Л., Уфимцев В.И.** Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. № 3-73.

**Черниховский Д.М., Алексеев А.С.** Метод определения характеристик лесов на основе материалов дистанционного зондирования Земли, данных лесоустройства и алгоритма k-NN (на примере Лодейнопольского лесничества Ленинградской области). № 4-45.

**Чудецкий А.И., Багаев С.С.** Оценка потенциала еловых насаждений для создания лесных плантаций лесоводственными методами в южно-таежном районе европейской части России. № 2-22.

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Воронов Р.В., Марков О.Б., Григорьев И.В., Давтян А.Б.** Математическая модель модульного принципа подбора системы машин для создания и эксплуатации лесных плантаций. № 5-125.

**Герц Э.Ф., Теринов Н.Н.** К вопросу об организации рубок с применением бензомоторных пил и мини-тракторов. № 2-86.

**Орловский С.Н.** Методика расчета рабочего органа машины для послойного фрезерования лесных почв. № 3-97.

**Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А., Шевелева Е.В.** Повышение износостойкости сучкорезных ножей многооперационных лесозаготовительных машин. № 6-174.

**Посметьев В.И., Никонов В.О., Посметьев В.В.** Компьютерное моделирование рекуперативного тягово-сцепного устройства лесовозного автомобиля с прицепом. № 4-108.

**Посыпанов С.В.** Определение геометрических характеристик двухъярусной пакетной сплоточной единицы, расположенной на твердом основании. № 5-135.

**Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И.** Особенности контактного взаимодействия трелевочной системы с мерзлым почвогрунтом. № 1-106.

**Рукомойников К.П., Ведерников С.В.** Модернизация сучкорезного ножа харвестерной головки. № 1-120.

**Рукомойников К.П., Мохирев А.П.** Обоснование технологической схемы лесозаготовительных работ путем создания динамической модели функционирования предприятия. № 4-94.

**Чернышова Е.В., Скрыпников А.В., Самцов В.В., Абасов М.А.** Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия. № 2-95.

**Шегельман И.Р., Будник П.В.** Особенности оценки расчетной рейсовой нагрузки на антецедентной стадии проектирования бесчокерной трелевочной системы на основе машинного эксперимента. № 3-82.

**Шегельман И.Р., Будник П.В., Баклагин В.Н.** Методика компьютерного эксперимента при определении грузоподъемности и размеров грузового отсека лесной транспортной машины. № 6-160.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

**Moazami V., Khodadadi M., Afsooni F., Hatefnia H.** The Effect of Seasonal Temperature Variations on the Production Efficiency of Medium Density Fiberboard (Case Study of Arian Sina Company). № 4-124.

**Агеев С.П.** Математическое моделирование электропотребления процесса рамной распиловки древесины. № 6-194.

**Агеев С.П., Минаев А.Н., Рощина С.И.** Вероятностный анализ взаимосвязей показателей режима работы лесопильных рам. № 3-121.

**Данилов В.Е., Айзенштадт А.М.** Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции. № 2-111.

**Деснев А.Н., Прокофьев Г.Ф., Тюриков В.Ю.** Моделирование температурного поля в массиве кучи измельченной древесины. № 6-213.

**Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казицин С.Н., Намятов А.В.** Формирование структуры плит малой плотности из гидродинамически активированных мягких отходов деревообработки. № 5-148.

**Зарипов Ш.Г., Чижов А.П., Корниенко В.А., Семёнова Н.И.** Влияние водорастворимых веществ на распределение

влажности в лиственничных пиломатериалах перед сушкой. № 6-185.

**Мелехов В.И., Кремлева Л.В., Тюрикова Т.В., Сазанова Е.В., Лужанский Д.А., Слуцков В.А.** Экспериментальное исследование динамики процесса обработки древесины концевыми фрезами. № 4-146.

**Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В., Прозоров Я.С., Пырикова П.Г.** Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования. № 2-102.

**Прокофьев Г.Ф., Кабакова М.Ю., Цветкова Т.В.** Применение современных методов конструирования при совершенствовании лесопильных станков. № 1-128.

**Рыкунин С.Н., Каптелкин А.А.** Влияние ложного ядра березы на объемный выход ламелей из заболонной зоны для клеёного щита. № 6-202.

**Торопов А.С., Бызов В.Е., Торопов С.А.** Производство пиломатериалов для строительства из круглых лесоматериалов с ядровой гнилью. № 4-133.

**Чернов В.Ю., Цой О.В., Магаляс Н.А., Чернова М.С.** Устройство для дендрохронологического исследования древесины. № 5-158.

**Яцун И.В., Гороховский А.Г., Одинцева С.А.** Исследование физико-механических и рентгенозащитных свойств деревокомпозиционного слоистого материала «Фанотрен Б». № 3-110.

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**Chernaya N.V., Fleisher V.L., Bogdanovich N.I.** Reduction of Energy Consumption of Paper-And Cardboard Machines while Production of Glued Paper and Cardboard. № 5-188.

**Андранович О.С., Демьянцева Е. Ю., Филиппов А.П., Смит Р.А.** Деэмульгирование сульфатного мыла при введении неиногенного поверхностно-активного вещества. № 6-224.

**Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В., Окулова Е.О., Лагунов А.Ю.** Закономерности процесса пероксидно-ацетатной делигнификации недревесного целлюлозосодержащего сырья в присутствии серно-кислотного катализатора. № 3-143.

**Басырова С.И., Галиханов М.Ф., Галеева Л.Р.** Поверхностные свойства модифицированного картона. № 6-223.

**Бойкова Т.Е., Богданович Н.И., Воронцов К.Б.** Эффективность применения коагулянтов при водоподготовке в целлюлозно-бумажной промышленности в условиях Севера. № 1-141.

**Болотова К.С., Травина О.В., Аксенов А.С., Емельянова М.В., Рудакова В.А., Канарский А.В.** Биоконверсия целлюлозосодержащих материалов в условиях Арктического региона. № 4-179.

**Микулинцева М.Ю., Пономарев Д.А., Грачев А.Н., Покрышкин С.А., Косяков Д.С.** Химический состав фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины. № 3-132.

**Поташев А.В., Гурьев А.В., Филиппов И.Б., Мосеев В.Г.** Особенности деформирования структуры формованных изделий из целлюлозных волокон. № 2-119.

**Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н.** Модификация фенолоформальдегидных смол отходами производства алюминия и целлюлозы. № 2-130.

**Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Хабибуллина А.Р.** Моделирование тепломассопереноса в пиролизной зоне. № 1-153.

**Седова Е.Л., Воронцов К.Б., Буркова С.А.** Влияние условий коагуляционной обработки на эффективность очистки лигнинсодержащей сточной воды по данным планированного эксперимента. № 4-159.

**Селиванова Н.В., Самсонова Н.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., Богданов М.В.** Состав экстрактивных веществ древесной зелени можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) приарктических территорий. № 6-241.

**Смит Р.А., Демьянцева Е.Ю., Андранович О.С.** Анализ состояния смолы при обессмоливании сульфатной лиственной целлюлозы. № 4-168.

**Старжинская Е.В., Кряжев А.М., Третьяков С.И., Глуханов А.А.** Промывка смешанного сульфатного мыла нейтрализованной кислой водой. № 5-194.

**Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Кузяков Н.Ю.** Получение и применение комплексов лигносульфоновых кислот с катионами железа. № 5-167.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

**Афанасьев А.С., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Суслов В.М., Котов Ю.Т., Вороницын В.К., Камусин А.А.** Система контроля и управления высокомощных литий-ионных аккумуляторных батарей. № 1-161.

**Бабич Н.А., Дрочкова А.А., Комарова А.М., Лебедева О.П., Андронова М.М.** Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне. № 2-141.

**Воробьев А.Л., Калачев А.А., Залесов С.В.** Фитоминеральный гель для инкрустации корней сеянцев ели сибирской (Picea obovata Ledeb.) и сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.). № 6-255.

**Заикин А.Н., Сиваков В.В., Шевелева Е.В.** Методы снижения повреждаемости стволов деревьев при выборочных и санитарных рубках леса. № 4-200.

**Карбасникова Е.Б., Залывская О.С., Чухина О.В.** Содержание тяжелых металлов в почве и древесной растительности в условиях городской агломерации. № 5-216.

**Карпов А.А.** Сокращение площади малонарушенных лесных территорий на примере Двинско-Пинежского междуречья. № 3-152.

**Куза П.А.** Оценка термоустойчивости дуба черешчатого и дуба скального и степени их адаптации к влиянию теплового шока. № 4-187.

**Моисеев Н.А.** Роль лесов в создании экологически комфортной среды обитания и меры для ее реализации. № 5-203.

**Пак Л.Н.** Изменчивость показателей качества семян *Pinus sylvestris L.* на территории Забайкальского края. № 6-262.

**Покровская Е.Н., Агапов Д.В., Ковальчук Ю.Л.** Микологическое обследование древесины исторических объектов культурного наследия. № 4-212.

**Сунгурова Н.Р., Худяков В.В., Страздаускас С.Е.** Сравнительная структура углеродного пула в надземной фитомассе культур сосны и ели. № 3-159.

**Цогт З., Дугаржав Ч., Лобанов А.И., Гэрэлбаатар С., Булган-Эрдэнэ Б.** Возрастная динамика структуры надземной фитомассы культур сосны обыкновенной до 25-летного возраста в условиях Западного Хэнтэя (Северная Монголия). № 5-208.

**Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Мелехов В.И.** Публикационная результативность научно-исследовательских работ в интересах лесного комплекса России. № 6-270.

**Falck H., K.L. Mikhaylov, N.A. Demidova.** Wood Waste Potential as Forestry Competitive Advantage (By the Example of the Arctic Territories Mainland of the European Russian North). № 6-280.

## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

**Шалаев В.С., Тепляков В.К**. Навстречу XXV Всемирному конгрессу ИЮФРО-2019. № 3-166.

## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**Шалаев В.С.** Новая книга о Международном союзе лесных исследовательских организаций. № 1-171.

**Тарханов С.Н., Харитонов В.А., Пеккоев А.Н.** Введение в экологию хвойных лесных культур. № 3-172.