

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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

1/361

2018

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, Скиннскатеберг)
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)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
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)
Малыгин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)
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)
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)
Романов Е.М., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
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)
Тараканов А.М., д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)
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)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельмани Х.-Д., д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(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

1/361

2018

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

EDITORIAL STAFF:

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 STAFF:

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)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
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)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
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)
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)
Romanov E.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
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)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)
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)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.П. Бессчетнов, Н.Н. Бессчетнова, А.О. Есичев.</i> Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (<i>Larix Mill.</i>) в условиях Нижегородской области.....	9
<i>Н.В. Геникова, В.А. Харитонов.</i> Последствие многолетнего внесения минеральных удобрений на видовой состав и структуру напочвенного покрова в культурах сосны на песчаных почвах.....	18
<i>Н.А. Бабич, Р.С. Хамитов.</i> Рост сеянцев сосны кедровой сибирской в потомстве деревьев разных половых типов.....	29
<i>А.К. Мухин.</i> Многолетняя динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния водохранилища.....	37
<i>А.С. Матвеева, Н.В. Беляева, Д.А. Данилов.</i> Возрастная структура подроста ели разных фенологических форм в зависимости от состава и строения древостоя.....	47

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>В.Я. Шапиро, О.И. Григорьева, И.В. Григорьев, М.Ф. Григорьев.</i> Теоретическое исследование процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтометров для тушения лесных пожаров.....	61
<i>Д.Г. Мясичев.</i> Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах.....	70

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.В. Карельский, Т.П. Журавлева, В.В. Филиппов, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов.</i> Технология усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами.....	80
<i>В.Н. Глухих, А.Ю. Охлопкова.</i> Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений.....	89
<i>Г.Ф. Прокофьев.</i> Совершенствование конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими.....	99

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.В. Сафина, Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Г.Р. Арсланова.</i> Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов.....	109
<i>Н.В. Щербак, Е.В. Дубовой, М.А. Лоренгель, А.С. Смолин.</i> Моделирование композиции сепараторной бумаги из минерального и растительного сырья для повышения прочности и впитывающей способности.....	120

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- С.В. Коптев, О.В. Скуднева.* О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике..... 130

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

- В.К. Тепляков, В.С. Шалаев.* ИЮФРО – 125 лет!..... 139

ЮБИЛЕИ

- В.И. Мелехов, С.И. Третьяков, Н.А. Макаревич, Н.А. Кутакова, Я.В. Казаков.*
Профессору Богдановичу Николаю Ивановичу – 75 лет..... 143

НЕКРОЛОГ

- В.Ф. Ковязин.* Памяти Игоря Ивановича Минкевича..... 145
-



CONTENTS

FORESTRY

V.P. Besschetnov, N.N. Besschetnova, A.O. Esichev. Physiological State Evaluation of Representatives of the Genus Larch (<i>Larix</i> Mill.) in the Nizhny Novgorod Region.....	9
N.V. Genikova, V.A. Kharitonov. The Aftereffects of Long-Term Mineral Fertilization on the Species Composition and the Ground Cover Structure of Pine Crops on Sandy Soils.....	18
N.A. Babich, R.S. Khamitov. Growth of Seedlings of Siberian Stone Pine in Tree Breeding of Different Reproduction Types.....	29
A.K. Mukhin. Multi-Year Dynamics of Green-Moss Pine Forests in the Zone of Indirect Influence of the Reservoir.....	37
A.S. Matveeva, N.V. Belyaeva, D.A. Danilov. Age-Class Composition of Spruce Undergrowth of Different Phenological Forms Depending on the Stand Composition and Structure.....	47

WOOD EXPLOITATION

V.Ya. Shapiro, O.I. Grigor'eva, I.V. Grigor'ev, M.F. Grigor'ev. Theoretical Study of the Soil Mass Destruction Process by Spherical Knives when Using Combined Forest Fire-Fighting Soil-Thrower Constructions.....	61
D.G. Myasishchev. Potential of Small-Scale Mechanization in Forestry Technological Processes.....	70

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

A.V. Karel'skiy, T.P. Zhuravleva, V.V. Filippov, B.V. Labudin, V.I. Melekhov. Reinforcement Technology of Laminated Wood Structures by Gang Nail.....	80
V.N. Glukhikh, A.Yu. Okhlopova. Determination of Bending Moment and Deflection in Lumber Cross-Sections of Dahurian Larch from the Action of Initial Stresses.....	89
G.F. Prokof'ev. Design Development of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides.....	99

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

A.V. Safina, N.F. Timerbaev, D.F. Ziatdinova, G.R. Arslanova. Extraction of Valuable Components from Forest Residues.....	109
N.V. Shcherbak, E.V. Dybovoy, M.A. Lorengel', A.S. Smolin. Simulation of Separator Paper Composition from Mineral and Vegetable Raw Material for Hardening and Absorbency.....	120

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

S.V. Koptev, O.V. Skudneva. On the Applicability of UAV in Forestry Practice..... 130

CONFERENCES AND MEETINGS

V.K. Teplyakov, V.S. Shalaev. 125 Years of IUFRO!..... 139

JUBILEES

*V.I. Melekhov, S.I. Tret'yakov, N.A. Makarevich, N.A. Kutakova, Ya.V. Kazakov.
75th Anniversary to Professor Nikolai I. Bogdanovich.....* 143

OBITUARY

V.F. Kovyazin. In Memory of Igor I. Minkevich..... 145



ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК: 630*232.12:582.475.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ЛИСТВЕННИЦА (*Larix* Mill.) В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.П. Бессчетнов, д-р биол. наук, проф.

Н.Н. Бессчетнова, д-р с.-х. наук, доц.

А.О. Есичев, асп.

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина,
д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: lesfak@bk.ru,
besschetnova1966@mail.ru, andrey.esichev@mail.ru

Формирование вновь создаваемых насаждений предполагает возможность расширения их породного состава и биологического разнообразия лесной растительности. Интродукция давно признана успешным инструментом пополнения местной флоры перспективными видами. Устойчивость видов в новых для них условиях непосредственно связана с их физиологическими особенностями. Практика интродукции представителей рода лиственница подтверждает широкие биологические возможности, высокую устойчивость и продуктивность созданных из них насаждений. Показатели сезонных изменений содержания запасных веществ в тканях годичных побегов выступают важной характеристикой физиологического состояния древесных растений, как аборигенных представителей рода лиственница, так и ее экзотов. Цель исследования – выявление межвидовой и индивидуальной фенотипической изменчивости различных видов лиственницы в условиях интродукции по показателям их физиологического состояния. Объект исследования – коллекционные посадки лиственницы на территории дендрологического комплекса «Явлейка» в Сергачском межрайонном лесничестве Нижегородской области. Наличие крахмала (цветная реакция на раствор Люголя) и жиров (реакция на Судан III) в тканях однолетних побегов исследовано у трех видов лиственницы. Содержание этих компонентов оценивали в условных баллах по разработанным нами шкалам. Первичной единицей выборки в гистохимическом опыте была принята разовая фиксация количества анализируемого вещества в учетной ткани побега. Визуальный отсчет значений выполняли на временных препаратах поперечных срезов из средней части годичного прироста. Срезы после окрашивания и фиксации анализировали с помощью микроскопа «Микмед-2». Для статистического и дисперсионного анализов использовали общепринятые методики. Установлена степень генотипической обусловленности характеристик физиологического состояния исследуемых растений, определено влияние факторов среды на формирование фенотипических различий между ними. Виды рода лиственница существенно различались по способности образовывать запасы жироподобных веществ в годичных побегах разных фенологических фаз. Наиболее высокое содержание жиров в марте отмечено у лиственниц Сукачева (18,33 балла) и даурской (17,50 балла), лиственница сибирская значительно отставала

Для цитирования: Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Есичев А.О. Оценка физиологического состояния представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях Нижегородской области // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 9–17. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9

от них по этому показателю (7,84 балла). В период активного отрастания побегов (конец мая) содержание жиров в тканях исследуемых видов снижалось, различия между ними выравнивались. Существенно различались рассматриваемые виды рода лиственница по способности образовывать запасы крахмала в годичных побегах в разные фенологические фазы. Наиболее высокое содержание крахмала (конец мая) характерно для лиственницы даурской, наиболее низкое – для лиственницы Сукачева. Диапазоны значений тестируемых признаков у разных видов лиственницы неодинаковы и варьируют по фенологическим фазам. Фенотипические различия по исследуемым показателям определяются как видовой принадлежностью, так и внешними факторами. Влияние среды на формирование запасов жироподобных веществ и крахмала зависит от фенологического состояния растений.

Ключевые слова: род лиственница, запасные вещества, жиры, крахмал, интродукция, изменчивость, физиологическое состояние, однолетние побеги, генотипическая обусловленность, адаптация.

Введение

Устойчивость лесных экосистем во многом определяется биологическими особенностями видов-лесообразователей, входящих в них. В полной мере это относится и к искусственным насаждениям. Опыт интродукции представителей рода лиственница свидетельствует о широких биологических возможностях, высокой устойчивости и продуктивности созданных насаждений [5]. Изучение физиологических особенностей и совершенствование агротехники создания и выращивания культур представителей рода лиственница, повышение их устойчивости и интенсивности роста актуально и содействует расширению биоразнообразия лесных экосистем Среднего Поволжья, подвергающихся значительному техногенному и рекреационному воздействию.

Запасные вещества в клетках древесных растений имеют большое физиологическое, адаптационное и идентификационное значение [1–3]. Характер сезонных изменений их содержания в тканях побегов служит важным показателем соответствия биологии представителей рода лиственница существующим экологическим условиям. Необходимость оценки успешности интродукции видов лиственницы на территории Нижегородской области для привлечения их в состав создаваемых насаждений различного целевого назначения определяет направление работ.

Цель проводимого исследования – выявление межвидовой и индивидуальной фенотипической изменчивости аборигенных и интродуцированных видов лиственницы по содержанию крахмала и жиров в однолетних побегах, а также оценка степени генотипической обусловленности указанных характеристик и влияния факторов среды на формирование различий.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований выступали коллекционные деревья лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), лиственницы даурской (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) и лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Djil.), произрастающие на территории дендрологического комплекса «Явлейка» в г. Сергач Нижегородской области. В список учетных включали одновозрастные деревья семенного происхождения общим количеством 30 шт. (по 10 деревьев каждого вида), достигшие генеративной фазы и размещенные в пределах одного участка при одинаковых площадях питания на выровненном экофоне. Методы выявления физиологической изменчивости растений достаточно широко используются

для гистохимических исследований [11, 12]. Наличие крахмала в тканях побегов, связанное с устойчивостью растений к неблагоприятным зимним условиям [9, 10, 13], оценивали по реакции на раствор Люголя [8] в условных баллах по предложенной нами шкале [2, 4]. Учет по сердцевине, перимедуллярной зоне ксилемы, ранней и поздней ксилеме, сердцевинным лучам ксилемы, смоляным ходам, флоэме вели отдельно и по общей сумме в соответствии с существующими разработками [1, 2, 4]. Жиры обнаруживали качественной реакцией на Судан III по традиционным методикам [8]. В качестве контроля в обоих случаях использовали неокрашенные срезы, не подвергавшиеся воздействию тестирующих реагентов. По принятой системе [2–4] контролировали содержание крахмала и жиров в баллах. Статистический и дисперсионный анализы выполняли по общепринятым схемам [6], изменчивость анализируемых показателей оценивали коэффициентами вариации по шкале С.А. Мамаева [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка содержания крахмала в годичных побегах представителей рода лиственница в последней декаде марта и мая представлена на рис. 1.

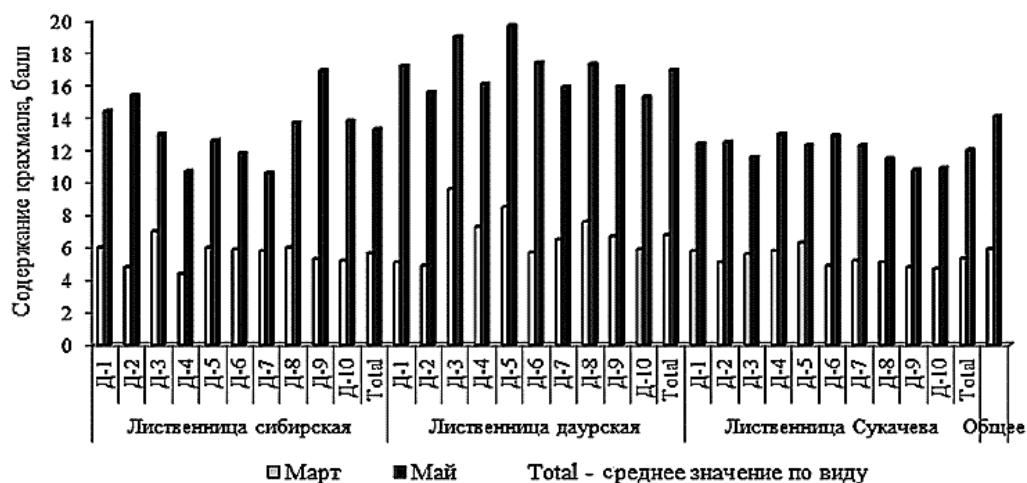


Рис. 1. Содержание крахмала в годичных побегах представителей рода лиственница в марте и мае (Д-1, ..., Д-10 – учетные деревья по видам)

Как видно на рис. 1, синтез крахмала в последней декаде марта при отсутствии хвои находился на минимальном уровне и происходил за счет хлорофилла в периферийных тканях побегов. В этот период содержание крахмала в среднем у лиственницы даурской было выше, чем у лиственниц сибирской и Сукачева. Среднее суммарное по тканям содержание крахмала по всем деревьям у лиственниц сибирской, даурской и Сукачева – соответственно 5,64; 6,78 и 5,33 балла. Уровень изменчивости по комплексу из 30 деревьев повышенный (33,7) %. Оказалось, что внутривидовая изменчивость лиственниц сибирской и даурской была выше: соответственно 37,1 % (высокий уровень) и 32,2 % (повышенный). Содержание крахмала у лиственницы Сукачева по учетным деревьям было самым стабильным. Это средний уровень изменчивости по шкале Мамаева (24,8 %). Наибольшее значение суммарного содержания крахмала по всем тканям в марте отмечено у учетного дерева Д-3 лиственницы даурской (9,6 балла), наименьшее – у дерева Д-4 лиственницы сибирской (4,4 балла).

Очевидно, такая картина накопления крахмала в период начала выхода из состояния покоя связана с тем, что естественный ареал лиственницы даурской характеризуется даже более суровыми условиями по сравнению с естественным ареалом лиственницы сибирской. Возможно, в условиях Нижегородской области она способна выходить из состояния покоя в более ранние сроки по сравнению с другими исследуемыми видами. Накопление крахмала в последней декаде мая, когда на побегах уже заметно отросла хвоя, было более значительным у всех видов.

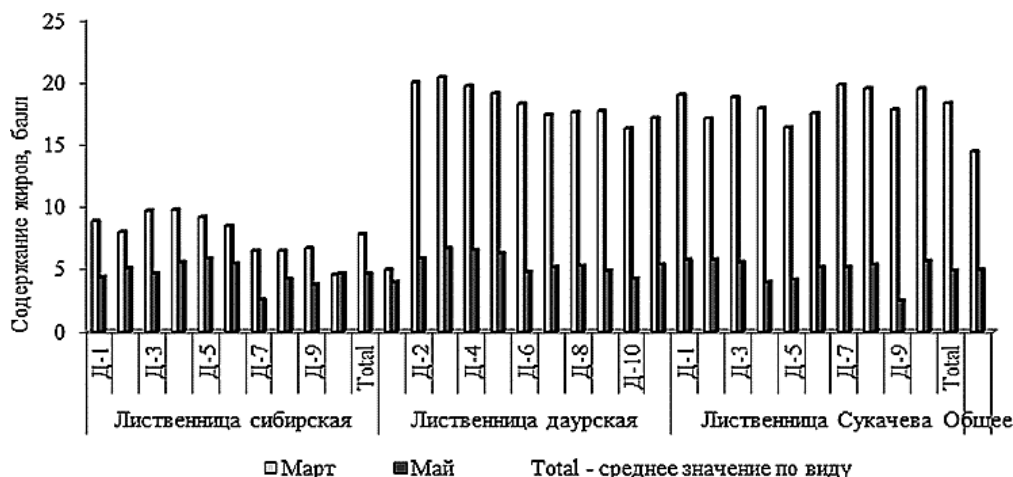


Рис. 2. Содержание жироподобных веществ в годичных побегах представителей рода лиственница в марте и мае (Д-1, ..., Д-10 – учетные деревья по видам)

Как видно на рис. 2, в начале марта больше всего жиров зафиксировано в побегах лиственниц Сукачева и даурской. Средние значения показателя по видам – соответственно 18,33 и 17,50 балла. Меньше всего жиров в марте оказалось в побегах лиственницы сибирской (7,84 балла). Суммарное по всем тканям количество жиров в мае по видам было сопоставимым, балл: лиственница сибирская – 4,66; лиственница даурская – 5,40; лиственница Сукачева – 4,94. В этот период наиболее высокая внутривидовая изменчивость отмечена у лиственниц сибирской (33,60 %) и даурской (26,30 %). Самые стабильные показатели оказались лиственницы Сукачева (9,99 %).

Причин низкого содержания жиров у лиственницы Сукачева в начале весны несколько:

вид лучше адаптирован к климатическим условиям Нижегородской области, для которой характерны умеренно холодные зимы, что не требует высоких запасов жиров для перезимовки;

вид более приспособлен к продолжительности светового дня в марте, поэтому снижение жиров в это время – результат более быстрого перехода его к теплоте;

вид в целом содержит меньше жиров, чем другие виды лиственниц.

В настоящее время лиственница Сукачева является недостаточно изученным видом, ее таксономическое положение в составе рода лиственница остается дискуссионным. Требуют дальнейшего развития вопросы, связанные с оценкой соответствия динамики ее физиологических показателей изменениям погодных условий.

Точность определения всех изученных показателей не превышала установленного в лесном хозяйстве 5 %-го уровня значимости. Характер формирования различий между объектами комплекса зафиксирован при проведении двухфакторного независимого дисперсионного анализа, в котором фактором А выступала видовая принадлежность объектов, фактором В – различия между отдельными деревьями семенного происхождения, фактором АВ – влияние взаимодействия факторов А и В на формирование фенотипических различий по тестируемому признаку (см. таблицу).

**Результаты двухфакторного дисперсионного анализа
физиологических показателей годичных побегов видов рода лиственница**

Фактор влияния	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm m_h$)			
	$F_{оп}$	F_{05}	по Плохинскому		по Снедекору	
			h^2	$\pm m_{h^2}$	h^2	$\pm m_{h^2}$
<i>Суммарное по тканям содержание жиров</i>						
Вид (А)	<u>476,68</u>	<u>3,04</u>	<u>0,6873</u>	<u>0,0042</u>	<u>0,7086</u>	<u>0,0039</u>
	4,74	3,04	0,0430	0,0128	0,0442	0,0128
Учетные деревья (В)	<u>9,22</u>	<u>1,92</u>	<u>0,0598</u>	<u>0,0126</u>	<u>0,0408</u>	<u>0,0129</u>
	3,78	1,92	0,1544	0,0114	0,1095	0,0120
Взаимодействие (АВ)	<u>12,82</u>	<u>1,62</u>	<u>0,1664</u>	<u>0,0112</u>	<u>0,1761</u>	<u>0,0111</u>
	3,15	1,62	0,2578	0,0100	0,2548	0,0100
Остаток (Z)	–	–	<u>0,0865</u>	<u>0,0123</u>	<u>0,0745</u>	<u>0,0124</u>
			0,5448	0,0061	0,5915	0,0055
<i>Суммарное по тканям содержание крахмала</i>						
Вид (А)	<u>8,84</u>	<u>3,04</u>	<u>0,0985</u>	<u>0,0121</u>	<u>0,1236</u>	<u>0,0118</u>
	160,02	3,04	0,5429	0,0061	0,5821	0,0056
Учетные деревья (В)	<u>2,57</u>	<u>1,92</u>	<u>0,1291</u>	<u>0,0117</u>	<u>0,0827</u>	<u>0,0123</u>
	3,35	1,92	0,0511	0,0127	0,0286	0,0130
Взаимодействие (АВ)	<u>1,04</u>	<u>1,62</u>	<u>0,1038</u>	<u>0,0120</u>	<u>0,0056</u>	<u>0,0133</u>
	6,63	1,62	0,2025	0,0107	0,2062	0,0107
Остаток (Z)	–	–	<u>0,6686</u>	<u>0,0044</u>	<u>0,7881</u>	<u>0,0028</u>
			0,2035	0,0107	0,1830	0,0110

Примечание. В числителе приведены данные на 23 марта 2015 г., в знаменателе – на 28 мая 2015 г.

Как видно из данных таблицы, для всех исследованных признаков существенные различия установлены почти по всем факторам. Опытные значения критериев Фишера ($F_{оп}$) в подавляющем большинстве случаев оказались выше их критических значений и не превышали установленного 5 %-го уровня значимости. Исключением стало суммарное по тканям содержание крахмала в марте по фактору АВ. В этом случае данные оказались недостоверными ($F_{05} > F_{оп}$).

Удалось вычислить долю влияния каждого из факторов на формирование зафиксированной дисперсии. Преобладающее влияние оказывает фактор А – межвидовые различия выявлены для веществ в период, когда их значения приближаются к максимуму. По содержанию жиров это соответствовало пребыванию растений в состоянии покоя, по содержанию крахмала – в периоде активного роста. Так, в марте доля влияния фактора А по содержанию жиров составила по методу Плохинского ($68,73 \pm 0,42$) %, по алгоритму Снедекора – ($70,86 \pm 0,39$) %, по содержанию крахмала – всего ($9,85 \pm 1,21$) % (по Плохинскому) и ($12,36 \pm 1,18$) % (по Снедекору). В мае влияние

фактора А преобладало по содержанию крахмала: $(54,29 \pm 0,61)$ % (по Плохинскому) и $(58,21 \pm 0,56)$ % (по Снедекору); в этот же срок по содержанию жиров: $(4,30 \pm 1,28)$ % (по Плохинскому) и $(4,42 \pm 1,28)$ % (по Снедекору).

Заключение

Установлено, что изученные виды рода лиственница существенно различаются по способности образовывать жироподобные вещества в тканях годовичных побегов в разные фенологические фазы. Более высоким суммарным содержанием жиров в марте характеризуются лиственницы Сукачева (18,33 балла) и даурская (17,5 балла); лиственница сибирская значительно отстает по этому показателю (7,84 балла). В период активного роста в мае содержание жиров в годовичных побегах приближается к своему минимуму, дифференциация исследуемых видов сглаживается.

Кроме того, эти виды существенно различаются и по способности накапливать крахмал в годовичных побегах в разные фенологические фазы. Наиболее высокое содержание крахмала в период активного роста (конец мая) характерно для лиственницы даурской, наиболее низкое – для лиственницы Сукачева. В марте наиболее высокие значения демонстрирует лиственница даурская (хотя этот показатель более выровненный).

Таким образом, различия по исследуемым показателям определяются как видовой принадлежностью, так и фенотипической спецификой деревьев семенного происхождения. Влияние факторов среды на формирование дисперсии по содержанию жиров и крахмала зависит от фенологического состояния растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнова Н.Н. Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах // Вестник МарГТУ. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2. С. 49–56.
2. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Селекционный потенциал плюсовых деревьев. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 402 с.
3. Бессчетнова Н.Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 48–55. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев: моногр. Н. Новгород: НГСХА, 2016. 464 с.
5. Газизуллин А.Х., Грачев В.М. Почвенно-экологические условия произрастания высокопроизводительных культур лиственницы в лесостепи Среднего Поволжья // Лиственница и ее использование в народном хозяйстве: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: КГУ, 1980. С. 40–46.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
7. Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: тр. Ин-та экологии растений и животных. Свердловск, 1969. С. 3–38.
8. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высш. шк., 1960. 205 с.
9. 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

10. *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: <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19960401>

11. *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

12. *Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E.* Concurrent Measurements of Change in the Bark and Xylem Diameters of Trees Reveal a Phloem-Generated Turgor Signa // *New phytologist*. 2013. Vol. 198, iss. 4. Pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph.12224

13. *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

Поступила 17.05.17

UDC: 630*232.12:582.475.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9

Physiological State Evaluation of Representatives of the Genus Larch (*Larix* Mill.) in the Nizhny Novgorod Region

V.P. Besschetnov, Doctor of Biological Sciences, Professor

N.N. Besschetnova, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

A.O. Esichev, Postgraduate Student

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: lesfak@bk.ru, besschetnova1966@mail.ru, andrey.esichev@mail.ru

The formation of newly created plantations assumes the possibility of expanding their species composition and biological diversity of forest vegetation. The introduction has long been recognized as a successful tool for replenishing the local flora with promising species. Stability of species in new conditions is directly related to their physiological characteristics. The practice of introducing representatives of the genus larch confirms wide biological possibilities, high stability and productivity of plantations created from them. The indicators of seasonal changes of the storage compound content in the tissues of one-year shoots are an important characteristic of the physiological state of woody plants as native representatives of the genus larch and its exotics. The goal of research is to identify the interspecific and individual phenotypic variability of various species of larch under the conditions of introduction according to the indices of their physiological state. The object of the study is the collection of larch plantations in the territory of the dendrological complex “Yavleika” in the Sergachskiy interdistrict forestry of the Nizhny Novgorod region. We investigate the presence of starch (staining reaction to Lugol's solution) and fats (Sudan III reaction) in the tissues of one-year shoots of three species of larch. The content of these components is assessed in terms of the developed scales. The primary sampling unit in the histochemical experiment is a one-time fixation of the amount of the analyzed matter in the shoot's recording tissue. Visual reading of values is performed on temporary preparations of

For citation: Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Esichev A.O. Physiological State Evaluation of Representatives of the Genus Larch (*Larix* Mill.) in the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 9–17. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.9

transverse sections from the middle part of the annual increment. Sections after staining and fixation are analyzed using a micrometer “Mikmed-2”. Common methods are used for the statistical and variance analyses. We have determined the degree of genotypic conditioning of characteristics of the physiological state of plants, the influence of environmental factors on the formation of phenotypic differences between them. The species of a genus larch essentially differ in ability to form lipid stocks in one-year shoots of different phenological phases. The highest content of fats in March was observed in Sukachev’s larch (18.33 points) and Dahurian larch (17.50 points), Siberian larch had the less indicator (7.84 points). During the period of active shoot growth (in the end of May), the content of fats in their tissues decreased in the studied species, the differences between them were equalized. Considered species of the genus larch differ significantly by the ability to form starch stocks in one-year shoots in different phenological phases. The highest content of starch (in the end of May) was characteristic of Dahurian larch, the lowest – for Sukachev’s larch. The ranges of values of the test characters in different species of larch are not the same and vary according to the phenological phases. Phenotypic differences in the studied indicators are determined both by species and by external factors. The environmental effect on the formation of stocks of fat-like substances and starch depends on the phenological state of plants.

Keywords: genus larch, storage compound, fats, starch, introduction, variability, physiological state, one-year shoot, genotypic conditioning, adaptation.

REFERENCES

1. Besschetnova N.N. Sravnitel'naya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po sodержaniyu krakhmala v pobegakh [Comparative Estimation of Starch Content in the Sprouts of Scotch Pine Plus-Trees]. *Vestnik MarGTU. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management], 2010, no. 2, pp. 49–56.
2. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Seleksionnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Pine (*Pinus sylvestris* L.). The Breeding Potential of Plus-Trees]. Saarbrücken, Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 402 p. (In Russ.)
3. Besschetnova N.N. Soderzhanie zhirov v kletkakh pobegov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy [Fat Content in Shoot Cells of Scotch Pine Elite Trees]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 4, pp. 48–55.
4. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev: monogr.* [Pine (*Pinus sylvestris* L.). Efficiency of Selection of Plus-Trees]. Nizhny Novgorod, NSAA Publ., 2016. 464 p. (In Russ.)
5. Gazizullin A.Kh., Grachev V.M. Pochvenno-ekologicheskie usloviya proizvodstvaniya vysokoproizvoditel'nykh kul'tur listvennitsy v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Soil-Ecological Conditions of Growth of High-Productivity Larch Cultures in the Forest-Steppe of the Middle Volga Region]. *Listvennitsa i ee ispol'zovanie v narodnom khozyaystve: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Larch and Its Use in the National Economy]. Krasnoyarsk: KSU Publ., 1980, pp. 40–46. (In Russ.)
6. Lakin G.F. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980. 293 p.
7. Mamaev S.A. O problemakh i metodakh vnutrividovoy sistematiki drevesnykh rasteniy. Amplituda izmenchivosti [On the Problems and Methods of Intraspecific Systematics of Woody Plants. Amplitude of Variability]. *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differentsiatsii vida u drevesnykh rasteniy: tr. In-ta ekologii rasteniy i zhivotnykh* [Regularities of Form-Formation and Species Differentiation in Woody Plants: Trans. Inst. Plant and Animal Ecology]. Sverdlovsk, 1969, pp. 3–38. (In Russ.)

8. Prozina M.N. *Botanicheskaya mikrotekhnika* [Botanical Microelectronics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1960. 205 p. (In Russ.)
9. 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
10. 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: <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19960401>
11. 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
12. Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E. Concurrent Measurements of Change in the Bark and Xylem Diameters of Trees Reveal a Phloem-Generated Turgor Signal. *New phytologist*, 2013, vol. 198, iss. 4, pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph.12224
13. 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

Received on May 17, 2017

УДК 630*232.322.4:674.032.475.4
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.18

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МНОГОЛЕТНЕГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРУ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ НА ПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ*

Н.В. Геникова, канд. биол. наук, науч. сотр.

В.А. Харитонов, науч. сотр.

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910;
e-mail: genikova@krc.karelia.ru, haritonov@krc.karelia.ru

Приведены результаты исследования последствия многолетнего внесения различных сочетаний минеральных удобрений (простые (азот – N, фосфор – P, калий – K), комплексные (PK, NP, NK, NPK) и контроль) на напочвенный покров в культурах сосны в Карельском таежном районе через 17 лет после окончания их применения. Пробные площади после внесения различных удобрений отличаются общим количеством видов, соотношением обилия групп растений (кустарнички, мхи, лишайники) и количеством опада. Варианты опыта с простыми калийными и фосфорными удобрениями (без азота) по указанным характеристикам близки к контролю. В этих вариантах отмечено наименьшее количество видов растений мохово-лишайникового и травяно-кустарничкового яруса, при этом проективное покрытие видов напочвенного покрова высокое, выявлено наименьшее значение относительной полноты древостоя (0,7...0,8), максимальное проективное покрытие кустистых лишайников (25 %) и минимальное количество опада (12 %). В вариантах с комплексными азотными и фосфорными удобрениями относительная полнота древостоя – 1,0 и выше, при этом обилие лишайников незначительное (12 %), количество опада – 40 %. Влияние азотсодержащих удобрений проявилось в увеличении видового разнообразия напочвенного покрова за счет мезотрофных видов. Многолетнее применение азотсодержащих удобрений усилило рост культур сосны не только во время их внесения, но и в период последствия. Густой древостой и большое количество хвойного опада создают неблагоприятные условия произрастания как для кустистых лишайников, так и для зеленых мхов. Влияние внесенных азотсодержащих удобрений сохраняется на протяжении 17 лет после прекращения опыта.

Ключевые слова: минеральные удобрения, культуры сосны, напочвенный покров, песчаные почвы.

Введение

В связи с интенсивными лесозаготовками во второй половине прошлого столетия перед лесным хозяйством таежной зоны остро встал вопрос повышения продуктивности лесов. В тот период использование минеральных удобрений являлось наиболее доступным и эффективным мероприятием.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института леса Карельского научного центра Российской академии наук.

Для цитирования: Геникова Н.В., Харитонов В.А. Последствие многолетнего внесения минеральных удобрений на видовой состав и структуру напочвенного покрова в культурах сосны на песчаных почвах // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 18–28. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.18

Параллельно с этим, как правило, исследовались вопросы, касающиеся изменений агрохимических свойств почв, роста и развития древостоев, качества получаемой древесины [2, 4, 9, 15, 16]. Работы по изучению трансформации напочвенного покрова под влиянием удобрений носили в основном сопутствующий характер [7, 8, 11]. Особую актуальность проблема восстановления почвенного плодородия приобрела на вырубках сосняков на бедных песчаных почвах, где продолжительность действия удобрений меньше, чем на почвах тяжелого механического состава [17]. Несмотря на то, что работ по применению минеральных удобрений в лесном хозяйстве достаточно много, изучение действия удобрений ограничивалось периодом их внесения, т. е. непродолжительным временем после завершения подкормок. Имеющиеся сведения по долговременному последствию удобрений, связанному со вторичным использованием минеральных веществ в биологическом круговороте, немногочисленны и затрагивают проблемы продуктивности насаждений и агрохимических свойств почв [6, 9].

В настоящей статье рассмотрено влияние последствия многолетнего внесения минеральных удобрений на видовой состав и структуру напочвенного покрова сосняка брусничного, сформировавшегося на паловой вересковой вырубке.

Объекты и методы исследования

В 1961 г. в Карельском таежном районе* Институтом леса Карельского филиала АН СССР были заложены опыты по изучению влияния многолетнего применения минеральных удобрений на сохранность и рост культур сосны (*Pinus sylvestris* L.). Исходный тип леса – сосняк брусничный, состав древостоя – 10С+Б, класс бонитета – IV. После рубки древостоя и пожара в 1960 г. сформировался вересково-паловый тип вырубки. Почва – маломощная поверхностно-подзолистая песчаная на озерно-ледниковых песчаных отложениях, мощность всего почвенного профиля – 25...40 см [5]. Культуры сосны созданы посевом весной при помощи покровосдирателя-сеялки ПСТ-2А. На восьми пробных площадях (ПП), размером 0,05 га каждая, в стадии молодняка были вырублены все лиственные породы.

Минеральные удобрения вносили ежегодно с 1967 по 1996 г. В качестве азотных (N) удобрений использовали мочевину ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), фосфорных (P) – суперфосфат гранулированный ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$), калийных (K) – хлористый калий (KCl) по схеме: K, P, N, PK, NK, NP, NPK и контроль (без удобрений). С 1967 по 1972 г. удобрения N и K вносили в дозе 60 кг/га по действующему веществу, P – 120 кг/га; с 1972 по 1996 г. – по 120 кг/га каждого [16].

Цель эксперимента – изучение влияния минеральных удобрений на химические свойства почвы, развитие напочвенного покрова, рост культур сосны и устойчивость их к патогенам.

В дальнейшем на опытном участке велись стационарные многолетние исследования влияния длительного внесения удобрений на плодоношение макромицетов. Через 17 лет после окончания опыта при обследовании опытного объекта были отмечены значительные различия между вариантами как в росте культур сосны, так и в составе и структуре напочвенного покрова. Таким образом, даже после завершения подкормок прослеживается долговре-

*Подзона средней тайги по лесорастительному районированию согласно приказу № 367 от 18.08.2014 (с изм. от 21.03.2016) Министерства природных ресурсов и экологии РФ.

менное действие многолетнего дополнительного минерального питания на насаждение. Поэтому мы сочли целесообразным проведение детальных исследований последствий 30-летнего применения удобрений на структуру и видовой состав живого напочвенного покрова.

Исследования древостоев на ПП велись по общепринятым в лесной таксации методикам при сплошном перечеке деревьев по диаметрам и измерении высоты по ступеням толщины. Оценивалось проективное покрытие видов сосудистых растений, мхов, лишайников и опада. Для сравнения ПП между собой вычислен коэффициент сходства Сьеренсена–Чекановского для количественных признаков [14].

Результаты исследования и их обсуждение

Древостои на ПП представлены чистыми по составу сосняками, лиственные породы отсутствуют. Таксационные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика 53-летних культур сосны (состав 10С) на вересково-паловой вырубке

Вариант опыта	Густота стояния, тыс. шт./га	Средние		Объем среднего дерева, м ³	Полнота	Запас древостоя, м ³ /га	Класс бонитета
		диаметр, см	высота, м				
Контроль	1,52	10,8±0,37	10,9	0,061	0,6	92	IV,4
K	1,38	12,2±0,65	12,8	0,092	0,7	127	III,5
P	1,38	12,4±0,59	13,2	0,098	0,8	135	III,4
N	1,88	13,2±0,36	14,0	0,107	1,0	201	III,0
PK	1,17	14,2±0,71	14,0	0,126	0,8	148	III,0
NK	1,70	14,8±0,48	13,1	0,130	1,2	221	III,4
NP	2,12	15,4±0,37	15,3	0,153	1,4	321	II,6
NPК	1,28	16,5±0,62	14,0	0,160	1,0	205	III,0

По результатам обследования древостоя [8, 9] ежегодное внесение удобрений повысило продуктивность 53-летних культур сосны на 0,7–II,4 класс бонитета. Под влиянием удобрений средние диаметр и высота увеличились соответственно на 13...52 и 17...40 %. При внесении калийных и фосфорных удобрений запас древесины вырос на 38...61 %, азотсодержащих – на 118...249 %. Наибольшее влияние на увеличение продуктивности культур сосны оказали азотсодержащие удобрения [9, 10, 16].

Видовое разнообразие растений исследуемых ПП невысокое. Всего в напочвенном покрове восьми ПП было отмечено 20 видов растений (11 – сосудистые, 5 – мхи, 4 – лишайники). Описание напочвенного покрова ПП приведено в табл. 2.

Наибольшее количество видов (от 11 до 14) выявлено на ПП с внесением азотсодержащих удобрений. Больше разнообразие напочвенного покрова на ПП с внесением азота отмечалось и через 20 лет после начала опыта в предыдущих обследованиях пробного участка [15]. Проективное покрытие видов травяно-кустарничкового яруса на этих ПП невысокое (10...15 %). Покрытие мохово-лишайникового яруса составляет 40...60 %, преобладают зеленые мхи. Также для данных ПП характерно высокое проективное покрытие опада (хвоя, кора, сучья), которое на отдельных площадях достигает 40 %. Наибольшее количество опада отмечено возле групп деревьев или под отдельными крупными соснами.

Таблица 2

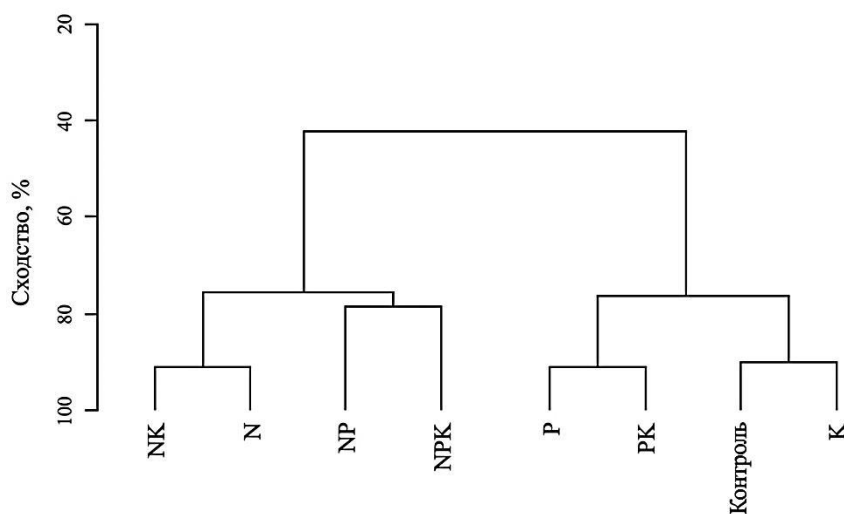
Видовой состав и проективное покрытие видов напочвенного покрова на ПП

Название вида	Конт- роль	К	Р	N	РК	NK	NP	NPK
<i>Травяно-кустарниковый ярус</i>								
Вереск обыкновенный (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull)	2	2	3	–	3	1	+	–
Осока седеющая (<i>Carex canescens</i> L.)	–	–	–	–	–	–	+	–
Иван-чай узколистый (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.)	–	–	–	–	+	–	–	–
Диффазиструм сплюснутый (<i>Diphysastrum complanatum</i> (L.) Holub)	5	+	–	7	–	3	–	3
Щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P. Fuchs)	–	–	–	–	–	–	+	2
Водяника черная (<i>Empetrum nigrum</i> L. s.l.)	1	–	2	–	+	–	–	–
Ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	–	–	–	+	–	–	+	–
Плаун годичный (<i>Lycopodium annotinum</i> L.)	–	–	–	–	–	–	–	+
Седмичник европейский (<i>Trientalis europaea</i> L.)	–	–	–	–	–	–	+	+
Черника обыкновенная (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	7	3	12	3	7	1	7	3
Брусника обыкновенная (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	15	15	35	2	15	5	7	2
<i>Мохово-лишайниковый ярус</i>								
Цетрария исландская (<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.)	5	5	5	1	5	2	1	1
Кладония лесная (<i>Cladonia arbuscula</i> (Wallr.) Flot.)	10	10	12	3	5	1	2	2
Кладония оленья (<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.)	10	20	12	3	5	2	2	2
Кладония звездчатая (<i>Cladonia stellaris</i> (Opiz) Pouz. et Vezda)	–	5	–	–	+	–	–	–
Дикранум многоножковый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	5	5	7	3	5	1	3	5
Дикранум метловидный (<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.)	–	–	–	3	–	3	2	5
Гилокомиум блестящий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.)	–	–	–	–	–	+	–	+
Плеурозиум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	60	40	60	20	60	50	45	30
Политрихум можжевельниковый (<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.)	–	–	2	7	+	1	5	5
<i>Всего видов</i>	10	10	10	11	12	12	14	14

Примечание. Знаком «+» отмечено проективное покрытие менее 1 %. Латинские названия видов сосудистых растений приведены по Конспекту флоры Карелии [3], мхов – по списку видов мхов для Восточной Европы [19], лишайников – по Конспекту лишайников и лихенофильных грибов Республики Карелия [12].

Наименьшее количество видов растений произрастало на контроле и в вариантах опыта с внесением простых и комплексных удобрений, не содержащих азот. Несмотря на то, что на этих ПП видовое разнообразие минимально, здесь наблюдается наибольшее проективное покрытие видов как в целом для напочвенного покрова, так и по ярусам (покрытие мохово-лишайникового яруса – 90 % и выше, травяно-кустарничкового – 20 % и выше).

Сравнение ПП с помощью коэффициента сходства Сьеренсена–Чекановского с учетом проективного покрытия видов напочвенного покрова подтвердило деление ПП на 2 группы (см. рисунок).



Дендрограмма сходства ПП на основе коэффициента Сьеренсена–Чекановского (метод Варда)

Первая группа объединяет варианты опыта с применением азотсодержащих удобрений и характеризуется крайне низким проективным покрытием брусники (2...5 %). Проективное покрытие кустистых лишайников здесь составляет менее 10 %. Снижение участия лишайников после применения минеральных удобрений, особенно комплексных, отмечено и при обследовании данного пробного участка в 1980-е гг. [15]. Среди мхов преобладает *Pleurozium schreberi*, в напочвенном покрове также участвуют виды рода *Dicranum*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum juniperinum* и *Ptilium crista-castrensis*. Из 9 видов сосудистых растений, отмеченных для данной группы, 5 произрастают только здесь: офика волосистая, седмичник европейский, плаун годичный, щитовник картузианский и осока седеющая – это мезотрофные виды, относительно требовательные к азоту [22]. Проведенный на ПП почвенный анализ выявил высокое содержание общего азота и углерода в лесной подстилке и минеральной части профиля в вариантах опыта с азотными удобрениями. В некоторых вариантах опыта (N, NP, NPK) среднее содержание общего азота в 2 раза и более выше по сравнению с контролем.

Вторая группа включает контроль и варианты опыта с калийными и фосфорными удобрениями. На этих ПП доля кустарничков (брусника, черника, вереск обыкновенный, водяника черная) и кустистых лишайников выше, чем в первой группе. Травяно-кустарничковый ярус представлен видами с широкой экологической амплитудой (черника, брусника) и олиготрофными видами (водяника, вереск, дифузиаструм сплюснутый).

Несмотря на некоторые отличия контроля от других ПП по таксационным и почвенным характеристикам [10] по видовому составу напочвенного покрова и проективному покрытию контрольный участок очень сходен с вариантами опыта с применением калийных и фосфорных удобрений (см. табл. 1). Это позволяет сделать вывод, что через 17 лет после окончания эксперимента даже такое длительное (на протяжении 30 лет) внесение калийных и фосфорных удобрений не оказало заметного влияния на состав и структуру напочвенного покрова.

По данным А.Ф. Чумак [13], проводившей обследование ПП через 14 лет после начала внесения удобрений (возраст культур сосны 20 лет), в вариантах с полным и азотно-калийным удобрениями напочвенный покров был развит слабее (25 и 33 % соответственно) по сравнению с контрольной площадью, что объяснялось интенсивным ростом, сильным развитием крон сосны и увеличением количества опада хвои. В настоящее время также наблюдается относительно низкое проективное покрытие видов напочвенного покрова во всех вариантах с азотсодержащими удобрениями. Снижение участия мхов при дополнительном азотном питании согласуется с данными других исследователей об уменьшении биомассы и проективного покрытия мхов при повышенной концентрации азота в почве [11, 18, 20, 24], что объясняется чувствительностью зеленых мхов к азоту, а также конкуренцией со стороны разрастающихся трав и злаков [21, 23].

В 20-летних культурах сосны, в целом по всему пробному участку, в напочвенном покрове доминировали вереск и брусника. Обследование 53-летних культур показало, что в напочвенном покрове преобладают зеленые мхи, брусника и черника. Уменьшение участия вереска и увеличение доли кустарничков на паловых вырубках по мере роста культур сосны приведено в работе [1].

Таким образом, анализ видового состава напочвенного покрова показал, что сосудистые растения на контроле и ПП с применением калийных и фосфорных удобрений представлены кустарничками с широкой экологической амплитудой (черника, брусника) и олиготрофными видами. Разнообразие видов сосудистых растений и мхов в вариантах с применением азотсодержащих удобрений возрастает по сравнению с контролем и калийно-фосфорными подкормками за счет мезотрофных видов.

Древесный ярус является одним из важных факторов, оказывающих воздействие на структуру напочвенного покрова (соотношение мхов и лишайников, количество опада). Выделенные на основе коэффициента Сьеренсена–Чекановского группы ПП по проективному покрытию (см. рисунок) имеют аналогичное разделение и по таксационным характеристикам.

Показатели полноты и запаса древостоя на контроле и в вариантах с внесением калийных и фосфорных удобрений относительно низкие, сомкнутость крон невысокая. Световой режим на исследованных ПП благоприятствует произрастанию кустистых лишайников, а сравнительно небольшое количество хвойного опада не сдерживает развитие напочвенного покрова в целом. Для этих территорий характерно довольно высокое проективное покрытие лишайников на фоне доминирующих зеленых мхов.

По таксационным характеристикам варианты с внесением азотсодержащих удобрений также сходны по значениям полноты, запаса древостоя и объему среднего дерева (см. табл. 1). Высокополнотный древостой с сомкнутыми кронами изменяет условия освещенности в сторону затенения, что отрицательно сказывается на росте лишайников, при этом большое количество хвойного опада препятствует разрастанию мхов.

Корреляционный анализ зависимости показателей напочвенного покрова от таксационных характеристик древостоя показал, что количество опада наиболее тесно связано с объемом среднего дерева и относительной полнотой (коэффициент корреляции $r = 0,63$ и $0,53$ соответственно), с густотой стояния древостоя зависимость гораздо меньше ($r = 0,26$). Между значениями проективного покрытия кустистых лишайников и относительной полнотой выявлена закономерная сильная отрицательная связь ($r = -0,73^*$). Опад оказывает негативное влияние на лишайники ($r = -0,81^*$). Проективное покрытие мхов также отрицательно связано с таксационными показателями древостоя ($r = -0,30 \dots -0,36$) и количеством опада ($r = -0,73^*$).

Заключение

Таким образом, доля участия в напочвенном покрове кустистых лишайников, мхов и проективное покрытие опада тесно взаимосвязаны с показателями древостоя: объемом среднего дерева и относительной полнотой, что в свою очередь зависит от использования определенного типа удобрений. Так, азотсодержащие удобрения вызывают увеличение роста культур сосны, что проявляется и в настоящее время. Густой древостой создает неблагоприятные условия произрастания и для кустистых лишайников (через затенение), и для зеленых мхов (через большое количество древесного опада). Такое опосредованное (через древостой) влияние внесенных азотных удобрений сохраняется на протяжении 17 лет после прекращения опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова О.И., Кищенко И.Т. Влияние минеральных удобрений на рост культур сосны обыкновенной на песчаных почвах южной Карелии // Лесн. журн. 2003. № 6. С. 7–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Казимиров Н.И., Куликова В.К., Морозова Р.М. Применение удобрений в лесах Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1974. 46 с.
3. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 403 с.
4. Кузьмин И.А. Рост сосны и ели на удобренных и обработанных гербицидами площадях // Удобрения и гербициды в лесных питомниках и культурах: сб. науч. тр. Петрозаводск, 1987. С. 81–93.
5. Куликова В.К. Изменение агрохимических свойств почв при внесении минеральных удобрений // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 24–41.
6. Люлькович И.Н. Функциональные изменения в звеньях биологического круговорота в лесных экосистемах после удобрения и рубок ухода: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2005. 18 с.
7. Матюшкин В.А., Скороходова О.Н. Изменение видового состава и продуктивности напочвенного покрова в сосняках травяно-сфагновых под влиянием проведения комплекса лесохозяйственных мероприятий // Антропогенная трансформация таежных экосистем Европы: экологические, ресурсные и хозяйственные аспекты: материалы междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 2004. С. 230–233.
8. Ронконен Н.И., Куликова В.К. Влияние удобрений на развитие напочвенного покрова // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 42–52.

* Отмечена достоверность коэффициента корреляции при $p < 0,05$.

9. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на рост сосны в толщину в посевах на паловых вырубках с песчаными почвами. I. Последствие 30-летнего ежегодного применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество древесины // Лесн. журн. 2016. № 6. С. 42–55. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Влияние периодического внесения азотных удобрений на качество древесины сосны обыкновенной в культурах // Успехи современного естествознания. 2016. № 11. С. 75–79.
11. Степаненко И.И. Изменения в живом напочвенном покрове в опытах с минеральными удобрениями в разных типах леса // Лесн. вестн. 2006. № 6. С. 4–12.
12. Фадеева М.А., Голубкова Н.С., Витикайнен О., Ахти Т. Конспект лишайников и лихенофильных грибов Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 194 с.
13. Чумак Н.Ф. Микоризы сосны на песчаных почвах в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1981. 25 с.
14. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Л.: ЛГУ, 1980. 176 с.
15. Шубин В.И. Влияние удобрений на рост культур сосны на песчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 66–77.
16. Шубин В.И., Гелес И.С., Крутов В.И., Морозова Р.М., Соколов А.И. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках. Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1991. 176 с.
17. Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Полянский Е.В., Бельков В.П., Гладков Е.Г., Головчанский И.Н., Рябинин Б.Н., Морозов В.А., Шиманский П.С. Лесные плантации (ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.
18. Dirkse G.M., Martakis G.F.P. Effects of Fertilizer on Bryophytes in Swedish Experiments on Forest Fertilization // Biological conservation. 1992. No. 59, iss. 2-3. Pp. 155–161.
19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. Check-List of Mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. Pp. 1–130.
20. Mäkipää R. Sensitivity of Forest-Floor Mosses in Boreal Forests to Nitrogen and Sulphur Deposition // Water, Air and Soil Pollution. 1995. Vol. 85, iss. 3. Pp. 1239–1244.
21. Manninen O.H., Stark S., Kytöviita M.-M., Lampinen L., Tolvanen A. Understorey Plant and Soil Responses to Disturbance and Increased Nitrogen in Boreal Forests // Journal of Vegetation Science. 2009. Vol. 20, iss. 2. Pp. 311–322.
22. Rodenkirchen H. Effects of Acidic Precipitation, Fertilization and Liming on the Ground Vegetation in Coniferous Forests of Southern Germany // Water, Air and Soil Pollution. 1992. Vol. 61, iss. 3-4. Pp. 279–294.
23. Strengbom J., Nordin A., Näsholm N., Ericson L. Slow Recovery of Boreal Forest Ecosystem Following Decreased Nitrogen Input // Functional Ecology. 2001. Vol. 15, iss. 4. Pp. 451–457.
24. Turkington R., John E., Krebs C.J., Dale M.R.T., Nams V.O., Boonstra R., Boutin S., Martin K., Sinclair A.R.E., Smith J.N.M. The Effects of NPK Fertilization for Nine Years on Boreal Forest Vegetation in Northwestern Canada // Journal of Vegetation Science. 1998. Vol. 9, iss. 3. Pp. 333–346.

Поступила 21.05.17

UDC 630*232.322.4:674.032.475.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.18

The Aftereffects of Long-Term Mineral Fertilization on the Species Composition and the Ground Cover Structure of Pine Crops on Sandy Soils

N.V. Genikova, *Candidate of Biological Sciences, Research Officer*

V.A. Kharitonov, *Research Officer*

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: genikova@krc.karelia.ru, haritonov@krc.karelia.ru

The paper presents the research results of the aftereffect of long-term application of various combinations of mineral fertilizers (simple (nitrogen – N, phosphorus – P, potassium – K), complex (PK, NP, NK, NPK) and control) on the soil cover in pine crops in the Karelian taiga region via 17 years after their application. Sample plots treated with various fertilizers differ in the total number of species, abundance ratios of plant groups (shrubs, mosses, lichens) and the amount of litter. Variants of the experiment with simple potassium and phosphorus fertilizers (without nitrogen) for these characteristics are close to control. We mark the smallest number of plant species of the moss-lichen and grass-dwarf shrub layers, a high projective cover of the species of the ground cover, the lowest value of the relative stand density (0.7...0.8), maximum projective cover of fruticose lichens (25 %) and the minimum amount of litter (12 %). The relative stand density in variants with complex nitrogen and phosphorus fertilizers is 1.0 and higher, while the abundance of lichens is insignificant (12 %), and the amount of litter is 40 %. The effect of nitrogen fertilizers is manifested in an increase in the species diversity of the ground cover due to mesotrophic species. The long-term use of nitrogen fertilizers has increased the growth of pine crops during their application and the aftereffect. A dense stand and a large amount of coniferous litter create unfavorable growth conditions for bushy lichens and green mosses. The effect of introduced nitrogen fertilizers has been observed for 17 years after the experiment.

Keywords: mineral fertilizer, pine crop, ground cover, sandy soil.

REFERENCES

1. Gavrilova O.I., Kishchenko I.T. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na rost kul'tur sosny obyknovennoy na peschanykh pochvakh yuzhnoy Karelii [Influence of Mineral Fertilizers on Scots Pine Growth on South Karelia Sand Soils]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2003, no. 6, pp. 7–15.
2. Kazimirov N.I., Kulikova V.K., Morozova R.M. *Primeneniye udobreniy v lesakh Karelii* [Fertilizers Application in the Forests of Karelia]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1974. 46 p. (In Russ.)
3. Kravchenko A.V. *Konspekt flory Karelii* [A Compendium of Flora of Karelia]. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2007. 403 p. (In Russ.)
4. Kuz'min I.A. Rost sosny i eli na udobrennykh i obrabotannykh gerbitsidami ploshchadyakh [Pine and Spruce Growth on Fertilized and Herbicide-Treated Areas]. *Udobreniya i gerbitsidy v lesnykh pitomnikakh i kul'turakh: sb. nauch. tr.* [Fertilizers and Herbicides in Forest Nurseries and Crops]. Petrozavodsk, 1987, pp. 81–93. (In Russ.)

For citation: Genikova N.V., Kharitonov V.A. The Aftereffects of Long-Term Mineral Fertilization on the Species Composition and the Ground Cover Structure of Pine Crops on Sandy Soils. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 18–28. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.18

5. Kulikova V.K. *Izmenenie agrokhimicheskikh svoystv pochv pri vnesenii mineral'nykh udobreniy* [Change in Agrochemical Properties of Soils when Mineral Fertilization]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Effectiveness of Reforestation Measures in the North]. Petrozavodsk, Karelian Branch of the USSR Acad. Sci. Publ., 1977, pp. 24–41. (In Russ.)

6. Lyul'kovich I.N. *Funktsional'nye izmeneniya v zven'yakh biologicheskogo krugovorota v lesnykh ekosistemakh posle udobreniya i rubok ukhoda*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Functional Changes in the Links of the Biological Cycle in Forest Ecosystems after Fertilization and Thinning: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 2005. 18 p.

7. Matyushkin V.A., Skorokhodova O.N. *Izmenenie vidovogo sostava i produktivnosti napochvennogo pokrova v sosnyakh travyano-sfagnovykh pod vliyaniem provedeniya kompleksa lesokhozyaystvennykh meropriyatiy* [Changes in the Species Composition and Soil Cover Productivity in Grass and Sphagnum Pine Forests under the Influence of a Complex of Forest Management Activities]. *Antropogennaya transformatsiya taezhnykh ekosistem Evropy: ekologicheskie, resursnye i khozyaystvennye aspekty: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Anthropogenic Transformation of Taiga Ecosystems in Europe: Environmental, Resource and Economic Aspects: Proc. Intern. Sci. Practical Conf.]. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2004, pp. 230–233. (In Russ.)

8. Ronkonen N.I., Kulikova V.K. *Vliyanie udobreniy na razvitie napochvennogo pokrova* [The Effect of Fertilizers on the Ground Cover Development]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Effectiveness of Reforestation Measures in the North]. Petrozavodsk, Karelian Branch of the USSR Acad. Sci. Publ., 1977, pp. 42–52. (In Russ.)

9. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. *Vliyanie mnogoletnego primeneniya mineral'nykh udobreniy na rost sosny v tolshchinu v posevakh na palovykh vyrubkakh s peschanyimi pochvami. I. Posledstvie 30-letnego ezhegodnogo primeneniya kaliynykh udobreniy na rost sosny v tolshchinu i kachestvo drevesiny* [The Effect of Long-Term Mineral Fertilizers Treatment on the Pine Diameter Growth and Plantings in the Burnt Clear-Cuts with Sandy Soils. I. The Consequence of the 30-Year Annual Treatment of Potash Fertilizers on the Pine Diameter Growth and Wood Quality]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 6, pp. 42–55.

10. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. *Vliyanie periodicheskogo vneseniya azotnykh udobreniy na kachestvo drevesiny sosny obyknovennoy v kul'turakh* [Effect of Regularly Repeated Applications of Nitrogenous Fertilizers on Timber Quality in Scots Pine Crops]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2016, no. 11, pp. 75–79.

11. Stepanenko I.I. *Izmeneniya v zhivom napochvennom pokrove v opytakh s mineral'nymi udobreniyami v raznykh tipakh lesa* [The Changes on Plant Community for Experiments with Mineral Fertilizers in Pine Stands of Different Forest Types]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2006, no. 6, pp. 4–11.

12. Fadeeva M.A., Golubkova N.S., Vitikaynen O., Akhti T. *Konspekt lishaynikov i likhenofil'nykh gribov Respubliki Kareliya* [Compendium of Lichens and Lichenophilic Fungi of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2007. 194 p. (In Russ.)

13. Chumak N.F. *Mikorizy sosny na peschanykh pochvakh v svyazi s primeneniem udobreniy*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Mycorrhiza of Pine on Sandy Soils due to the Application of Fertilizers: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 1981. 25 p.

14. Shmidt V.M. *Statisticheskie metody v sravnitel'noy floristike* [Statistical Methods in Comparative Floristics]. Leningrad, LSU Publ., 1980. 176 p. (In Russ.)

15. Shubin V.I. *Vliyanie udobreniy na rost kul'tur sosny na peschanykh pochvakh* [The Effect of Fertilizers on the Pine Crops Growth on Sandy Soils]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Efficiency of Reforestation Measures in the North]. Petrozavodsk, Karelian Branch of the USSR Acad. Sci. Publ., 1977, pp. 66–77. (In Russ.)

16. Shubin V.I., Geles I.S., Krutov V.I., Morozova R.M., Sokolov A.I. *Povyshenie proizvoditel'nosti kul'tur sosny i eli na vyрубkakh* [The Increase in Productivity of Pine and Spruce Crops in Felling]. Petrozavodsk, Karelian Branch of the USSR Acad. Sci. Publ., 1991. 176 p. (In Russ.)
17. Shutov I.V., Maslakov E.L., Markova I.A., Polyanskiy' E.V., Bel'kov V.P., Gladkov E.G., Golovchanskiy I.N., Ryabinin B.N., Morozov V.A., Shimanskiy P.S. *Lesnye plantatsii (uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* [Forest Plantations (Accelerated Cultivation of Spruce and Pine)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 248 p. (In Russ.)
18. Dirkse G.M., Martakis G.F.P. Effects of Fertilizer on Bryophytes in Swedish Experiments on Forest Fertilization. *Biological conservation*, 1992, no. 59, iss. 2-3, pp. 155–161.
19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. Check-List of Mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*, 2006, vol. 15, pp. 1–130.
20. Mäkipää R. Sensitivity of Forest-Floor Mosses in Boreal Forests to Nitrogen and Sulphur Deposition. *Water, Air and Soil Pollution*, 1995, vol. 85, iss. 3, pp. 1239–1244.
21. Manninen O.H., Stark S., Kytöviita M.-M., Lampinen L., Tolvanen A. Understorey Plant and Soil Responses to Disturbance and Increased Nitrogen in Boreal Forests. *Journal of Vegetation Science*, 2009, vol. 20, iss. 2, pp. 311–322.
22. Rodenkirchen H. Effects of Acidic Precipitation, Fertilization and Liming on the Ground Vegetation in Coniferous Forests of Southern Germany. *Water, Air and Soil Pollution*, 1992, vol. 61, iss. 3-4, pp. 279–294.
23. Strengbom J., Nordin A., Näsholm N., Ericson L. Slow Recovery of Boreal Forest Ecosystem Following Decreased Nitrogen Input. *Functional Ecology*, 2001, vol. 15, iss. 4, pp. 451–457.
24. Turkington R., John E., Krebs C.J., Dale M.R.T., Nams V.O., Boonstra R., Boutin S., Martin K., Sinclair A.R.E., Smith J.N.M. The Effects of NPK Fertilization for Nine Years on Boreal Forest Vegetation in Northwestern Canada. *Journal of Vegetation Science*, 1998, vol. 9, iss. 3, pp. 333–346.

Received on May 21, 2017

УДК 630*631.53.01

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.29

РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В ПОТОМСТВЕ ДЕРЕВЬЕВ РАЗНЫХ ПОЛОВЫХ ТИПОВ

Н.А. Бабич¹, д-р с.-х. наук, проф.

Р.С. Хамитов², д-р с.-х. наук, доц.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.babich@narfu.ru

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: r.s.khamitov@mail.ru

Наследственно-обусловленная энергия роста проявляется уже на ранних стадиях онтогенеза сосны кедровой сибирской. Это может оказать существенное влияние на формовую структуру и урожайность будущих поколений интродукционных культур. Исследования проведены в целях изучения особенностей роста сеянцев сосны кедровой сибирской в зависимости от изменчивости материнских растений по половому типу. Образцы семян с деревьев сосны кедровой сибирской разных морфологических форм отобраны на территории одного из старейших в Вологодской области насаждений – памятника природы «Чагринская кедровая роща». Заготовленные семена после предварительной стратификации весной следующего года были высеяны в открытый грунт отдельно по семьям. Результаты исследования свидетельствуют о том, что к возрасту четырех лет потомство смешанного полового типа достигает больших размеров по высоте стволика – $(11,5 \pm 0,2)$ см. Наименьшей высотой отличаются сеянцы в потомстве женских особей – $(9,4 \pm 0,3)$ см. Существенных различий по длине хвои в потомствах половых типов не выявлено. Сеянцы в потомстве женских морфологических форм отличаются меньшей массой стволиков и корней, а также общей фитомассой по сравнению с потомством смешанных типов. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что в лесных питомниках массовый отбор сеянцев по их крупности нецелесообразен, поскольку это ведет к снижению доли участия потомства растений женского типа, ценных по семенной продуктивности. Возможен отбор материнских производителей по результатам роста сеянцев (в посевах по семьям деревьев) с учетом их формовой принадлежности, исключающий дискриминацию той или иной формы.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, интродукция, селекция, половой тип, сеянцы.

Введение

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour), или кедр сибирский, уже на протяжении нескольких столетий интродуцируется в леса европейской части России прежде всего благодаря своему орехоносному значению. Использование селекционных приемов способствует созданию высокоурожайных кедровников [2]. Структура естественных популяций обусловлена взаимодействием наследственных свойств и условий среды. При зоохорном распространении семян формовая структура популяций часто зависит от повадок вида-распространителя. Аналогичные процессы могут протекать и при искусственном разведении вида [9, 11, 12]. Известно, что наследственные свойства

Для цитирования: Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской в потомстве деревьев разных половых типов // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 29–36. (Изв. вышш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.29

растений предопределяют быстроту роста уже на ранних стадиях онтогенеза [10]. В условиях естественного ареала для создания культур кедр, отличающихся хорошим ростом, признана эффективность отбора посадочного материала по крупности [1]. В условиях интродукции различная интенсивность роста сеянцев при таком отборе может оказать существенное влияние на формовую структуру будущих поколений культур. При этом процессы, связанные с преимуществом потомства отдельных половых типов, могут влиять и на урожайность вновь создаваемых насаждений сосны кедровой сибирской. В этом аспекте представляет интерес исследование особенностей роста сеянцев, выращенных из семян продуцентов разных половых типов [7]. В отечественной и зарубежной литературе эти вопросы не отражены.

Цель исследований – выявление особенностей роста сеянцев сосны кедровой сибирской в зависимости от изменчивости материнских продуцентов по половому типу.

Объекты и методы исследования

В кроне сосны кедровой сибирской образуются как женские, так и мужские колоски. Однако их количественное распределение неодинаково: мужских стробил всегда больше, чем женских. Уровень преобладания микростробил служит основанием для выделения половых типов [3]. Если их образуется в 80 раз больше, чем макростробил, то такое растение относят к мужскому половому типу, а если превышение составляет менее 20 раз – к женскому. Оставшиеся растения (с соотношением от 1 : 30 до 1 : 70) относят к промежуточному (смешанному) половому типу [5]. Подобная классификация применяется и к другим хвойным [8]. Признано, что сексуализация деревьев кедров высоко генетически обусловлена [6]. Значительное число макростробил в кроне растений женского типа способствует тому, что семеносящий ярус занимает основную часть (80...90 %) кроны. У смешанного типа он несколько меньше (около 60 %), у мужского – менее 1/3 кроны. Такие отличия во многом позволяют существенно облегчить процесс выделения типов [5].

Образцы семян отобраны в одной из старейших рощ на Европейском Севере – памятнике природы «Чагринская кедровая роща», расположенном в Грязовецком районе Вологодской области. Она была посажена помещиком Н.А. Петровым в 1900–1904 гг. К настоящему времени в роще сохранилось 133 кедров с мощными (диаметр на высоте 1,3 м – 62,1 см, средняя высота – 19,5 м) стволами. По нашим наблюдениям, в этой роще завершено формирование крон семеносящих растений и по численной представленности доминируют растения смешанного полового типа (41 % от общего количества растений в популяции). На растения мужского и женского типов приходится соответственно 32 и 27 %. Более половины урожая шишек (54 %) в роще производится растениями женского полового типа, около 36 % урожая дают растения промежуточного типа, остальное созревает на растениях мужского типа.

Посев стратифицированных семян был осуществлен весной следующего после заготовки года в открытый грунт отдельно по семьям (потомствам отдельных деревьев), что обеспечило рандомизацию вариантов по половому типу.

В конце периода выращивания из каждой семьи было отобрано 11...25 шт. сеянцев средней высоты. У них определяли высоту стволика, длину эпикотили и хвои. Диаметр шейки корня измеряли штангенциркулем с точностью $\pm 0,1$ мм. Общую массу растения в сыром состоянии устанавливали взвешиванием на весах ВЛКТ-500 с точностью $\pm 0,01$ г. Затем отделяли корневую часть, ствол, и

хвою и почки и поочередно взвешивали их на весах. Сеянцы сушили до постоянного веса в сушильной камере при температуре 100...105 °С. По результатам взвешивания до и после сушки определяли содержание абсолютно сухой массы компонентов в сырой навеске.

Результаты исследования и их обсуждение

К возрасту четырех лет сеянцы, выращенные из исследованных вариантов, в основном достигали стандартных (в соответствии с ОСТ 56-98-93 [4]) размеров (табл. 1).

Таблица 1

Влияние полового типа материнских продуцентов на биометрические параметры четырехлетних сеянцев

Половой тип материнского растения	Диаметр стволика, мм	Высота стволика, см	Длина хвои, см
Мужской	3,9±0,09	10,8±0,4	7,1±0,1
Смешанный	3,8±0,05	11,5±0,2	7,2±0,1
Женский	3,8±0,07	9,4±0,3	6,9±0,2
Среднее	3,9±0,04	10,8±0,2	7,1±0,1

Примечание. Биометрические параметры приведены с ошибкой определения.

Диаметр стволиков сеянцев не обусловлен половой дифференциацией материнских растений, однако потомство смешанного типа достигает больших размеров по высоте – (11,5±0,2) см. Значение параметра достоверно ($t_{\phi} > t_{05} = 2,0$) превышает (на 6 %) среднее по совокупности потомств. Сеянцы в потомстве женских особей отличаются меньшей высотой стволика – (9,4±0,3) см, что на 13 % меньше среднего значения по популяции ($t_{\phi} > t_{05} = 2,0$). Размах между средними значениями признака в потомстве смешанного и женского типов составляет 2,1 см ($t_{\phi} > t_{05} = 2,0$).

Существенного отличия в варибельности длины хвои в потомствах половых типов не выявлено. Несколько больше длина хвои у сеянцев деревьев смешанного типа, меньше – у женского. При этом различия со средней по популяции и между разными типами статистически не достоверны ($t_{\phi} < t_{05} = 2,0$).

Сопоставление массы растений и их частей между потомством разных морфологических форм показало некоторые различия между ними по отдельным параметрам (табл. 2).

Таблица 2

Влияние происхождения (по половому типу) четырехлетних сеянцев на их массу

Потомство форм по половому типу	Масса сеянца, г				
	Общая	Надземная часть			Корни
		всего	хвоя	стволики	
Мужской	<u>2,26±0,16</u> 103	<u>1,45±0,06</u> 101	<u>0,97±0,07</u> 101	<u>0,47±0,04</u> 100	<u>0,81±0,06</u> 104
Смешанный	<u>2,33±0,10</u> 106	<u>1,51±0,07</u> 106	<u>1,00±0,05</u> 104	<u>0,50±0,03</u> 106	<u>0,82±0,04</u> 105
Женский	<u>2,02±0,11</u> 92	<u>1,32±0,08</u> 92	<u>0,89±0,05</u> 93	<u>0,43±0,03</u> 91	<u>0,70±0,03</u> 90
Среднее	<u>2,20±0,07</u> 100	<u>1,43±0,05</u> 100	<u>0,96±0,03</u> 100	<u>0,47±0,02</u> 100	<u>0,78±0,03</u> 100

Примечание: В числителе приведено среднее значение массы и ошибка его определения, в знаменателе – процент от среднего.

В среднем масса одного сеянца к возрасту четырех лет составляет $(2,20 \pm 0,07)$ г. При этом наибольшей массы достигают сеянцы в потомстве деревьев смешанного типа – $(2,33 \pm 0,10)$ г, что на 15 % превышает массу растений из семян деревьев женского типа – $(2,02 \pm 0,11)$ г. Однако отличие массы сеянцев потомства женского типа от среднего по популяции статистически не значимо ($t_{\phi} = 1,42 < t_{05} = 1,98$).

Более половины фитомассы приходится на надземные органы растений. Масса надземных органов растений в семьях деревьев смешанного типа достигает $(1,51 \pm 0,07)$ г, что на 6 % больше, чем в среднем по популяции. Но, как и в случае с общей массой, различие между этими значениями не существенно при уровне доверительной вероятности $P = 0,95$ ($t_{\phi} = 0,89 < t_{05} = 1,98$). Растения в потомстве женской морфологической формы, напротив, имеют наименьшую массу надземной части – $(1,32 \pm 0,08)$ г. Различие между средней величиной этого признака у данной группы сеянцев и средней в посеве достигает 8 %. Оно также не существенно при 5 %-м уровне значимости ($t_{\phi} = 1,09 < t_{05} = 1,98$). Максимальное различие по накоплению сухого органического вещества в надземной части отмечено между потомством деревьев смешанного и женского половых типов. Последние уступают по этому показателю 0,19 г (14 %). Такое различие не существенно при $P = 0,95$ ($t_{\phi} = 1,67 < t_{05} = 1,98$).

Накопление в хвое органического вещества, необходимого для осуществления фотосинтеза, у потомства разных половых типов происходит одинаково. Наибольший разрыв между средними значениями этого показателя отмечается у сеянцев из семян деревьев смешанного и женского типов. Последние по массе хвои уступают 0,11 г (12 %), но и это различие не существенно при 5 %-м уровне значимости ($t_{\phi} = 1,41 < t_{05} = 1,98$).

Несколько больше в надземной части сеянцев варьирует масса стволиков. В среднем по популяции она для одного растения составляет $(0,47 \pm 0,02)$ г. Стволики сеянцев в потомстве смешанного типа также накапливают больше сухого вещества по сравнению с потомством деревьев женского типа, масса которых всего $(0,43 \pm 0,03)$ г. Данное различие значимо при 95 %-й вероятности безошибочного заключения ($t_{\phi} = 2,01 > t_{05} = 1,98$).

Корневая система проявляет сравнительно большую вариабельность относительно потомства морфологических форм, чем надземная, что может вызывать и различный уровень приживаемости растений после их пересадки. В среднем по популяции масса корней составляет $(0,78 \pm 0,03)$ г. Максимального значения этот показатель достигает у растений в потомстве смешанного типа – $(0,82 \pm 0,04)$ г. Такие растения накапливают несколько больше сухого вещества корней по отношению к семьям женского полового типа, средняя масса корней у которых лишь $(0,70 \pm 0,03)$ г. Разница по этому показателю между данными категориями составляет 0,12 г в абсолютном выражении (или 17 % в относительном) и статистически существенна при 5 %-м уровне значимости ($t_{\phi} = 2,40 > t_{05} = 1,98$).

Таким образом, четырехлетние сеянцы в потомстве женских морфологических форм отличаются меньшей массой стволиков и корней, а также общей фитомассой по сравнению с потомством смешанных форм.

Необходимо отметить, что исследования не показали наличия различий в распределении сухого вещества между отдельными органами у сеянцев потомства разных половых типов (табл. 3).

Незначительная флуктуация абсолютных значений фитомассы частей растений у потомства разных половых типов в еще меньшей степени выражена относительно общей массы.

Таблица 3

**Соотношение массы органов четырехлетних сеянцев в зависимости
от формовой принадлежности материнских растений (по половому типу)**

Потомство форм по половому типу	Относительная масса частей сеянцев, %				Соотношение массы корней и надземных органов
	Надземная часть			Корни	
	всего	хвоя	стволики		
Мужской	64±1,3	43±1,1	21±0,5	36±1,3	1 : 1,79
Смешанный	64±1,0	42±0,8	22±0,6	36±1,0	1 : 1,84
Женский	64±1,0	43±0,7	20±0,5	36±1,0	1 : 1,89
Среднее	64±0,6	43±0,5	21±0,3	36±0,6	1 : 1,83

Сеянцы, являющиеся потомством деревьев, образующих разное количество женских стробил, не отличаются по относительной массе надземных органов. У всех групп сеянцев, как и в среднем по популяции, их доля составляет 64 %. Вместе с этим некоторая вариабельность наблюдается по соотношению составляющих надземной части (хвои и стволиков).

Выраженная в процентах от общей массы фракция хвои между отдельными группами сеянцев практически не варьирует. Минимальный уровень признака характерен для растений в потомстве смешанных типов – (42,0±0,8) г. Однако разница с остальными группами (относительная масса хвои у которых составляет 43 %) не превышает 1 % и статистически не существенна. Другая часть надземной фитомассы (стволики) в отличие от хвои более изменчива (от 20 до 22 %) в зависимости от морфологических форм потомства, но и здесь различия между сеянцами разного формового происхождения статистически не существенны при 5 %-м уровне значимости ($t_{\phi} = 0,49...1,53 < t_{05} = 1,98$). Следует отметить, что в наибольшей степени выражен этот признак у сеянцев в потомстве смешанного типа (масса стволиков в процентах от среднего составляет (22±0,6) %), в наименьшей – у растений, происходящих от деревьев женского типа – (20±0,5) %.

Зависимость массы надземной части от массы корней (от общей массы сеянцев) для потомств отдельных половых типов и средних по популяции одинакова (36 %). Однако соотношение корней и надземной части различно. Заметим, что по данному критерию оценки не выражено доминирование растений в потомстве смешанного типа. Наоборот, наблюдается тенденция изменения этого соотношения сообразно ранжированию морфологических форм (от потомства мужского типа к женскому). Если в среднем по потомству масса корней к надземной части относится как 1 : 1,83, то и у сеянцев, выращенных из семян деревьев промежуточного полового типа, это соотношение составляет 1 : 1,84. Минимальна масса надземной части по отношению к корням у растений в потомстве мужского типа (1 : 1,79), максимально это выражено у сеянцев, происходящих из семян деревьев женского типа (1 : 1,89). Данная тенденция показывает, что, несмотря на несколько меньшие весовые характеристики, растения в потомстве женского типа могут иметь некоторое преимущество после пересадки, поскольку ассимилирующая (корневая) часть растений относительно надземной части у данной категории сеянцев лучше развита.

Анализ влияния происхождения сеянцев (относительно половых типов материнских растений) показал, что потомство растений женского типа (которые

обладают высокой селекционной ценностью) на ранних этапах онтогенеза отличается довольно низким уровнем накопления фитомассы, что обусловлено слабым ростом стволиков и корней. Вместе с тем относительно лучше развитая корневая система (по сравнению с надземной частью) может обеспечить некоторое преимущество в приживаемости растений данной категории после их посадки на постоянное место (при условии проведения последующих прополок, позволяющих избежать угнетения сорной растительностью).

Заключение

Изменчивость сосны кедровой сибирской по типу сексуализации оказывает влияние на флуктуацию размеров и массы семян и их отдельных органов. Четырехлетние сеянцы в потомстве женских морфологических форм по сравнению с потомством смешанного типа отличаются меньшей высотой и относительно небольшой массой стволиков и корней, а также общей фитомассой.

В лесных питомниках при использовании семян, заготавливаемых в интродукционных культурах, не следует осуществлять массовый отбор сеянцев по их крупности, поскольку это ведет к снижению доли участия потомства растений женского типа, ценных по семенной продуктивности.

Возможно производить отбор материнских продуцентов по результатам роста сеянцев (в посевах по семьям деревьев) с учетом их формовой принадлежности, что исключит дискриминацию форм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братилова Н.П. Изменчивость кедровых сосен и особенности создания культур целевого назначения: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2005. 36 с.
2. Дроздов И.И. Программа интродукции кедра сибирского в европейскую часть СССР. М.: МЛТИ, 1991. 56 с.
3. Некрасова Т.П. Биологические основы семеношения кедра сибирского. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1972. 274 с.
4. ОСТ 56-98-93. Сеянцы и саженцы основных древесных и кустарниковых пород. Технические условия. М., 1993. 93 с.
5. Титов Е.В. Кедр – царь сибирской тайги. М.: Колос, 2007. 152 с.
6. Титов Е.В. Клоновые испытания кедровых сосен // Лесн. хоз-во. 1995. № 6. С. 64–70.
7. Хамитов Р.С., Бабич Н.А., Дроздов И.И. Интродукция сосны кедровой сибирской на селекционной основе в таежную зону Восточно-Европейской равнины. Вологда–Молочное: Вологод. ГМХА, 2016. 356 с.
8. Чеменева Ю.В., Попова В.Т., Дорофеева В.Д. Влияние антропогенного загрязнения на сезонное развитие и семеношение псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga Menziesii*, var. *Viridis*) различных половых типов // Лесн. журн. 2010. № 6. С. 62–69. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Catling P.M. Identification and Status of the Introduced Black Pine, *Pinus nigra*, and Mugo Pine, *Pinus mugo*, in Ontario // Canadian Field-Naturalist. 2005. Vol. 119, no. 2. Pp. 224–232.
10. Emerson J.L., Frampton J., McKeand S.E. Genetic Variation in Early Growth and Bud Production among Natural Populations of Fraser Fir // HortScience. 2008. No. 43(3). Pp. 661–666.
11. Mezquida E.T., Benkman C.W. Habitat Area and Structure Affect the Impact of Seed Predators and the Potential for Coevolutionary Arms Races // Ecology. 2010. Vol. 91, no. 3. Pp. 802–814.

12. Siepielski A.M., Benkman C.W. Conflicting Selection from an Antagonist and a Mutualist Enhances Phenotypic Variation in a Plant // *Evolution*. 2010. Vol. 64, no. 4. Pp. 1120–1128.

Поступила 19.09.17

UDC 630*631.53.01

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.29

Growth of Seedlings of Siberian Stone Pine in Tree Breeding of Different Reproduction Types

N.A. Babich¹, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

R.S. Khamitov², *Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor*

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.babich@narfu.ru

²Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Shmidta, 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: r.s.khamitov@mail.ru

Hereditary-caused energy of growth is manifested already in the early stages of ontogeny in Siberian stone pine. This can significantly effect on the shape structure and yield of future generations of introductory crops. The investigations are conducted in order to study the growth peculiarities of Siberian stone pine seedlings, depending on the variability of maternal plants according to the reproduction type. Seed samples of Siberian stone pine trees of different morphological forms are selected in one of the oldest plantations in the Vologda region – the nature monument “Chagrinskaya cedar grove”. Harvested seeds after preliminary stratification are sown next spring in open ground separately according to families. The results of the research indicate that by the age of four years the offspring of the mixed reproduction type reach larger dimensions along the height of a stipitate – (11.5±0.2) cm. Seedlings in the female offspring differ in the lowest height (of 9.4±0.3) cm. We have not identified significant differences in length of needles in offspring of reproduction types. The seedlings in the offspring of female morphological forms have less stipitate and roots mass as well as total phytomass in comparison with offspring of mixed types. The authors conclude that mass selection of seedlings according to their size in nursery forests is unpractical, since it leads to a decrease in participation of offspring of the female type, valuable for seed production. The selection of maternal producers by the seedling growth results (in crops by tree families), taking into account their shape identity, excluding discrimination of one or another form, is possible.

Keywords: Siberian stone pine, introduction, selection, reproduction type, seedling.

REFERENCES

1. Bratilova N.P. *Izmenchivost' kedrovyykh sosen i osobennosti sozdaniya kul'tur tsel'evogo naznacheniya*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Variability of Cedar Pines and Peculiarities of Creation of Special-Purpose Crops: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 2005. 36 p.

For citation: Babich N.A., Khamitov R.S. Growth of Seedlings of Siberian Stone Pine in Tree Breeding of Different Reproduction Types. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 29–36. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.29

2. Drozdov I.I. *Programma introduksii kedra sibirskogo v evropeyskuyu chast' SSSR* [The Program of Siberian Stone Pine Introduction to the European Part of the USSR]. Moscow, Moscow State Forest Universiy Publ., 1991. 56 p. (In Russ.)
3. Nekrasova T.P. *Biologicheskie osnovy semenosheniya kedra sibirskogo* [Biological Bases of Siberian Stone Pine Seeding]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1972. 274 p. (In Russ.)
4. OST 56-98-93. *Seyantsy i sazhenitsy osnovnykh drevesnykh i kustarnikovykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [Industrial Standard 56-98-93. Seedlings and Plants of the Main Tree and Shrub Species. General Specifications]. Moscow, 1993. 93 p.
5. Titov E.V. *Kedr – tsar' sibirskoy taygi* [Cedar is the King of the Siberian Taiga]. Moscow, Kolos Publ., 2007. 152 p. (In Russ.)
6. Titov E.V. Klonovye ispytaniya kedrovyykh sosen [Cloning Tests of Cedar Pine Trees]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1995, no. 6, pp. 64–70.
7. Khamitov R.S., Babich N.A., Drozdov I.I. *Introduktsiya sosny kedrovoy sibirskoy na selektsionnoy osnove v taezhnuyu zonu Vostochno-Evropeyskoy ravniny* [The Introduction of Siberian Stone Pine on a Breeding Basis into the Taiga Zone of the East European Plain]. Vologda–Molochnoe, Vologda State Dairy Farm. Acad. Publ., 2016. 356 p. (In Russ.)
8. Chekmeneva Yu.V., Popova V.T., Dorofeeva V.D. Vliyaniye antropogennogo zagryazneniya na sezonnoye razvitiye i semenosheniye psevdotsugi Menzisa (*Pseudotsuga Menziesii*, var. *Viridis*) razlichnykh polovykh tipov [Influence of Anthropogenic Pollution on Seasonal Development and Seed-bearing Ability of Douglas Fir of Different Reproductive Type]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2010, no. 6, pp. 62–69.
9. Catling P.M. Identification and Status of the Introduced Black Pine, *Pinus nigra*, and Mugo Pine, *Pinus mugo*, in Ontario. *Canadian Field-Naturalist*, 2005, vol. 119, no. 2, pp. 224–232.
10. Emerson J.L., Frampton J., McKeand S.E. Genetic Variation in Early Growth and Bud Production among Natural Populations of Fraser Fir. *HortScience*, 2008, no. 43(3), pp. 661–666.
11. Mezquida E.T., Benkman C.W. Habitat Area and Structure Affect the Impact of Seed Predators and the Potential for Coevolutionary Arms Races. *Ecology*, 2010, vol. 91, no. 3, pp. 802–814.
12. Siepielski A.M., Benkman C.W. Conflicting Selection from an Antagonist and a Mutualist Enhances Phenotypic Variation in a Plant. *Evolution*, 2010, vol. 64, no. 4, pp. 1120–1128.

Received on September 19, 2017

УДК 630*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.37

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗЕЛЕНОМОШНЫХ СОСНЯКОВ В ЗОНЕ КОСВЕННОГО ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

А.К. Мухин, науч. сотр.

Дарвинский государственный природный биосферный заповедник, дер. Борок, д. 44,
Череповецкий р-н, Вологодская обл., Россия, 162723; e-mail: akm.ru@yandex.ru

Приведены результаты изучения многолетней динамики лесов Дарвинского заповедника, оказавшихся под влиянием Рыбинского водохранилища в условиях измененной природной среды. Водохранилище является мощным экологическим фактором, что предполагает необходимость изучения состояния прибрежных экосистем. Тенденции и закономерности их динамики изучены недостаточно. Исследования лесов, произрастающих в условиях многолетнего влияния водохранилища, строились на принципах динамической типологии, которые проверены И.С. Мелеховым при изучении ранних этапов жизни антропогенных лесов. Для спелых и перестойных лесов данные получены впервые в наших исследованиях. Они вносят существенные изменения в понятие устойчивости типа леса в стадии спелого древостоя, или сформировавшегося типа леса. Объект исследования – сосняк ягодниково-зеленомошный, произрастающий на «гриве» среди заболоченных сфагновых лесов в зоне косвенного влияния водохранилища. Цель исследования – показать ускоренные процессы роста и развития лесов в условиях измененной природной среды. Методика проведения экспериментов заключалась в подробном описании и анализе всех компонентов фитоценоза, особое внимание уделялось древостою не только как эдификатору типа леса и живого напочвенного покрова, но и как индикатору почвенно-гидрологических условий. Анализ материалов, полученных за 70-летний период, показал, что с позиций динамической типологии изучаемый сосняк ягодниково-зеленомошный следует рассматривать как этап относительно ускоренного формирования нового типа леса – сосняка черничника зеленомошного с тенденцией смены сосны елью в новом поколении и развитием процесса заболачивания. Эти выводы, подтверждающие положения динамической типологии И.С. Мелехова, важны для лесной науки и практики при проведении мониторинговых исследований в заповеднике.

Ключевые слова: зоны прямого и косвенного влияния водохранилища, динамическая типология леса, заболачивание, грунтовые воды.

Введение

В Дарвинском заповеднике, расположенном в северо-западной части Рыбинского водохранилища, преобладают заболоченные сфагновые сосняки и верховые болота. Зеленомошные леса растут на относительно высоких берегах водохранилища и подпираемых им рек, возвышаясь на 2,0...2,5 м над проектным уровнем водохранилища. Таких мест в заповеднике, по данным лесоустройства, менее 20 % покрытой лесом площади. Проектный уровень водохранилища (102,0 м (абс.)) достигнут в 1947 г. При данном уровне это достаточно большой по площади (450 тыс. га), но мелководный водоем (средняя глубина 4,0 ... 5,0 м).

Для цитирования: Мухин А.К. Многолетняя динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния водохранилища // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 37–46. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.37

Водохранилище существенно изменило гидрологический режим почв на прибрежных участках, условия и режим увлажнения почв, вызвало подъем уровня грунтовых вод, нарушило естественный ход процессов в лесных экосистемах.

Многолетние исследования динамики лесных экосистем имеют огромную ценность для прогноза последствий антропогенных воздействий [12], моделирования климатических изменений [13] и устойчивого лесопользования [14, 15]. Это в полной мере относится к изучению закономерностей динамики прибрежных лесных экосистем района исследования.

Выделяют зоны прямого и косвенного влияния водохранилища [1]. Зона прямого влияния в зависимости от высоты береговых участков достигает 50...150 м [2]. Здесь вследствие инфильтрации и подпора колебания уровня грунтовых вод (УГВ) повторяются изменения уровня водохранилища (УВ). На более удаленных участках (1,0...1,5 км от берега до верховых болот) простирается зона косвенного влияния водохранилища. Здесь отсутствует непосредственное влияние водохранилища на УГВ, однако в «буферных» участках (граница суходола с болотом) при высоком УВ и обильных осадках наблюдается длительное застаивание верховодки из-за подпора водохранилищем естественных водотоков, создаются критические условия для функционирования корневой системы деревьев и ускорения процесса заболачивания со стороны верхового болота [5, 8].

Верховые болота, подходящие со стороны водораздела к высоким береговым участкам, заболачивают суходольные леса. Это многовековой процесс, однако после создания водохранилища, резко замедлившего сток с болот, он ускорился. Как показали исследования [6], заболачивание зеленомошных лесов происходит очень быстро, за 10...20 лет становятся очевидными изменения в напочвенном покрове, выражающиеся в вытеснении зеленых мхов сфагнами. Зеленомошные леса растут и на «гривах» – нешироких вытянутых участках, возвышаясь над болотом на 0,5...1,0 м.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось на пробной площади (ПП) 21, заложенной и описанной в 1947 г. Стационар площадью 0,5 га расположен на «гриве» среди заболоченных сфагновых сосняков и представляет собой сосняк бруснично-черничный, или ягодниково-зеленомошный, удаленный от водохранилища на 0,4 км, но находящийся в зоне его косвенного влияния.

Почва подробно описана в 1959 г., на ПП 21 выделены две почвенные разности по выраженности процесса оглеения: среднеподзолистая слабо- и среднеоглеенная пылевато-песчаная [10].

В ходе анализа многолетних данных по гидрологическим колодцам № 35 и 36, которые расположены на ПП 21, установлена зависимость режима колебания УГВ от атмосферных осадков и испарения и ее отсутствие при изменении УВ [4]. Ближе к поверхности почвы (1,5 м от поверхности) грунтовые воды поднимаются в апреле-мае, в многоводный год они держатся весь вегетационный период на глубине 1,5...2,0 м, в засушливый год к сентябрю опускаются до 3,2 м, осенью поднимаются до глубины 2,5 м от поверхности.

Таблица 1

Динамика средних таксационных показателей древостоя на ПП 21

Год учета	Состав	Средние*		Возраст, лет	Полнота	Бонитет	Количество деревьев, %		Запас, м ³ /га		
		диаметр, см	высота, м				здоровых	сухостойных	живых	сухостой	валежника
1947	10Сед.Е	23,1 24,5	21,1 22,8	77	0,94	І,7	92,0	2,4	345	8	—
1960	10С+Еед.Б	24,7 28,4	20,1 23,9	90	1,05	І,9	96,5	5,3	397	22	—
1971	9С1Еед.Б	25,3 29,8	20,8 25,0	101	1,05	ІІ,0	92,0	10,0	401	45	17
1976	9С1Еед.Б	26,0 30,9	21,0 25,4	106	1,09	ІІ,0	90,0	8,6	419	39	33
1981	9С1Еед.Б	26,3 31,6	21,2 25,6	111	1,11	ІІ,1	89,1	8,2	431	38	43
1991	9С1Еед.Б	26,2 33,2	21,0 27,0	121	1,14	ІІ,0	91,0	10,7	461	55	66
2001	9С1Еед.Б	26,0 33,9	21,0 27,0	131	1,14	ІІ,1	94,9	13,9	459	67	74
2016	9С1Еед.Б	26,7 37,6	21,5 27,9	146	1,22	ІІ,1	98,0	7,9	486	42	138

*В числителе – для всего древостоя, в знаменателе – для первого яруса.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика рассматриваемого типа леса за 55-летний период отражена в ранее опубликованной статье [7]. Наши исследования охватывают изменения разных компонентов сосняка ягодниково-зеленомошного за 70-летний период исследования.

По данным первого описания (1947 г.) древостой был чистым сосновым с единичной елью. За годы наблюдения (1947–2016 гг.) было выполнено 8 учетов древостоя, средние таксационные показатели приведены в табл. 1.

При рассмотрении динамики древостоя за 70-летний период отмечено, что он прошел стадию спелости и достиг перестойного возраста. Произошло изменение состава за счет перехода подроста ели, достигшего ступени толщины 8 см, в древесный ярус. Сохранились высокие бонитет и полнота. За годы наблюдений средний диаметр увеличился на 13,1 см, средняя высота – на 5,1 м, запас живого древостоя – на 140 м³/га, отпад (в основном валежник) составил 180 м³/га. Темпы разрушения древостоя следует считать значительными, но не нарушающими структуру, о чем свидетельствует продолжающееся увеличение запаса и полноты древостоя в возрасте 146 лет. Обилие во втором ярусе ели, которая чувствует себя хорошо, говорит о тенденции перехода в будущем сосняка в сосново-еловый тип леса.

Если сравнивать изменения таксационных показателей

сосны с соответствующими показателями из таблицы хода роста № 114 [9], то можно отметить существенное совпадение, т. е. древостой продолжает расти так же, как в нормальных условиях, а водохранилище практически не оказывает на него никакого влияния.

Подрост при первом описании (1947 г.) был представлен многочисленной елью высотой от 1,0 до 3,0 м хорошего состояния. Единично отмечены березы высотой до 1,0 м. Таксационные показатели подроста в разные годы учета приведены в табл. 2.

Таблица 2

Динамика таксационных показателей подроста на ПП 21 в год учета

Название растения	Показатель	1947	1976	2001	2016
Ель европейская (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	<i>N</i>	1,0	0,8	0,7	0,5
	<i>h</i>	1,0...3,0	0,5...5,0	2,5...4,0	2,5...5,0
	<i>C</i>	Хорошее	Хорошее	Хорошее	Хорошее
Береза бородавчатая (<i>Betula pendula</i> Roth.)	<i>N</i>	Единично	0,1	0,02	0,05
	<i>h</i>	1,0	0,5...7,0	1,5...3,0	0,5...2,0
	<i>C</i>	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i> L.)	<i>N</i>	–	Единично	–	Единично
	<i>h</i>	–	0,1	–	0,2
	<i>C</i>	–	Удовлетворительное	–	Удовлетворительное

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, *N* – общая численность, тыс. шт./га; *h* – высота, м; *C* – состояние.

Через 30 лет (1976 г.) подрост стал представлен елью и березой. Ель распределена равномерно, высота подроста 0,5...5,0 м, господствующая – 1,0 м; состояние в основном хорошее. Подрост березы распределен на площади равномерно, численность увеличилась до 0,1 тыс. шт./га, состояние удовлетворительное, высота 0,5...7,0 м. Отмечен 1 всход дуба черешчатого высотой 0,1 м.

Еще через 40 лет (2016 г.) численность подроста ели снизилась до 0,5 тыс. шт./га, стали преобладать ели высотой 2,5...5,0 м. В целом состояние елового подроста хорошее, он успешно входит во второй ярус. Налицо явная тенденция смены сосны елью в новом поколении леса. Сохранились и немногочисленные (около 50 шт./га) березы высотой 0,5...2,0 м, состояние удовлетворительное. Также в подросте отмечен 1 дубок высотой 0,2 м удовлетворительного состояния.

Подлесок при первом описании (1947 г.) был выражен многочисленными кустами можжевельника (5,0 тыс. шт./га) с господствующей высотой до 1,0 м. Встречались высокие кусты до 3,0 м и выше, все они были здоровыми. Таксационные показатели подлеска в разные годы учета приведены в табл. 3.

Через 30 лет (1976 г.) в подлеске остались немногочисленные кусты можжевельника (до 50 шт./га) высотой до 1,0 м удовлетворительного состояния. Отмечены единично рябина обыкновенная высотой до 2,0 м, ива козья высотой 1,5 м и крушина ломкая высотой 0,5 м.

При последнем учете (2016 г.) сохранились лишь единичные кусты можжевельника высотой до 0,5 м, состояние удовлетворительное. Численность рябины обыкновенной увеличилась до 80 шт./га, высота 0,5...1,5 м, состояние удовлетворительное.

Таблица 3

Динамика таксационных показателей подлеска на ПП 21 в год учета

Название растения	Показатель	1947	1976	2001	2016
Можжевельник обыкновенный (<i>Juniperus communis</i> L.)	<i>N</i>	5,0	0,05	0,01	Единично
	<i>h</i>	1,0...3,0	$\geq 1,0$	0,5	0,5
	<i>C</i>	Хорошее	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i> L.)	<i>N</i>	–	Единично	0,02	0,08
	<i>h</i>	–	$\geq 2,0$	1,0...3,0	0,5...1,5
	<i>C</i>	–	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное
Крушина ломкая (<i>Frangula alnus</i> Mill.)	<i>N</i>	–	–	–	Единично
	<i>h</i>	–	–	–	0,5
	<i>C</i>	–	–	–	Удовлетворительное
Ива козья (<i>Salix caprea</i> L.)	<i>N</i>	–	Единично	–	–
	<i>h</i>	–	0,5	–	–
	<i>C</i>	–	Удовлетворительное	–	–

Рассмотрим динамику индикаторного компонента типа леса – живого напочвенного покрова. Показатели динамики напочвенного покрова в разные годы учета (в баллах – обилие по шестибальной системе, соответствующей шкале Друде [11]; в процентах – проективное покрытие) приведены в табл. 4.

Через 30 лет (1976 г.) в травяно-кустарничковом ярусе фоновыми видами стали черника, брусника, линнея северная, орляк обыкновенный. Исчезли марьянник луговой, овсяница красная и ястребинка зонтичная. Появились в небольшом обилии щитовник игольчатый и единично вейник лесной.

Из мхов фон образовывали плеуроциум Шребера, гилокомий блестящий и дикран волнистый. Меньше стало птилия гребенчатого. Появились небольшие пятна сфагнома Гиргензона.

Еще через 25 лет (2001 г.) в травяно-кустарничковом ярусе фон создавали черника, брусника и орляк обыкновенный. Остальные виды остались в небольшом обилии.

В моховом ярусе фоновыми были плеуроциум Шребера, гилокомий блестящий и дикран волнистый. Разросся сфагнум Гиргензона на площади около 200 м². Появились пятна мертвого покрова (до 25 м²).

При последнем описании (2016 г.) в травяно-кустарничковом ярусе фон образовывала только черника, доля других видов существенно снизилась. В небольшом обилии сохранились майник двулистный, седмичник европейский, линнея северная, орляк обыкновенный, щитовник игольчатый. Единично встречались марьянник луговой, плаун годовой, овсяница красная и очень редко щитовник Линнея.

В моховом покрове фоновыми сохранились плеуроциум Шребера и гилокомий блестящий. Суммарная площадь разрастания сфагнома Гиргензона увеличилась до 250 м² и составила 5 % от площади ПП. Суммарная доля мертвого покрова возросла до 32 м².

Таблица 4

Динамика живого напочвенного покрова на ПП 21 в год учета

Название растения	1947		1976		2001		2016	
	Балл	%	Балл	%	Балл	%	Балл	%
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>								
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	5...6	40	4	40	4	30	3	20
Брусника (<i>V. vitisidaea</i> L.)	4...5	10	3	10	3	10	2, м. 3	–
Майник двулистный (<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt)	2, м. 3	–	–	–	м. 3	–	1, м. 2	–
Седмичник европейский (<i>Trientalis europaea</i> L.)	2, м. 3	–	–	–	м. 3	–	м. 1-2	–
Линнея северная (<i>Linnaea borealis</i> L.)	м. 4-5	–	3	10	2	–	2	–
Марьянник луговой (<i>Melampyrum pratense</i> L.)	1-2	–	–	–	1	–	ед.	–
Плаун сплюснутый (<i>Lycopodium clavatum</i> L.)	2	–	–	–	–	–	–	–
Плаун годовалый (<i>L. annotinum</i> L.)	1	–	–	–	ед.	–	ед.	–
Плаун булавовидный (<i>L. clavatum</i> L.)	–	–	–	–	ед.	–	–	–
Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> L.)	1	–	3	10	3	10	2-3	–
Гудайера ползучая (<i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.)	1	–	–	–	1	–	–	–
Ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	1	–	–	–	2-3	–	м. 1	–
Вейник лесной (<i>Calamagrostis</i> <i>arundinacea</i> (L.) Roth)	–	–	1	–	1	–	–	–
Вереск обыкновенный (<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull)	2	–	–	–	1	–	м. 1	–
Овсяница красная (<i>Festuca rubra</i> L.)	ед.	–	–	–	–	–	ед.	–
Ястребинка зонтичная (<i>Hieracium umbellatum</i> L.)	ед.	–	–	–	–	–	–	–
Щитовник игольчатый (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs)	–	–	1	–	1	–	1	–
Щитовник Линнея (<i>D. Linnaeana</i> Christens.)	–	–	–	–	–	–	м. 1	–
<i>Моховой покров</i>								
Плеуроциум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	5	60	4	40	4	30	3, м. 4	30
Гилокомий блестящий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B.S.G.)	4	30	3	20	4	40	3	20
Птилий гребенчатый (<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.)	3-4	–	ед.	–	–	–	–	–
Дикран волнистый (<i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	3	–	3	30	м. 4	20	м. 3	–
Кукушкин лен обыкновенный (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	1-2	–	2	–	–	–	м. 2	–

Примечание: м. – местами; ед. – единично.

Анализ динамики живого напочвенного покрова как индикатора почвенно-гидрологических условий [17] и важного компонента лесных экосистем [16] за исследованный 70-летний период показал, что в травяно-кустарничковом ярусе изменение проявилось в снижении доли черники и брусники, причем последняя перестала быть фоновым видом. В моховом покрове происходили флуктуационные изменения, но всегда в этой динамике участвовали только зеленые мхи. В динамике сфагнома Гиргензона – основного заболачивателя зеленомошных лесов – изменения незначительны, однако доля его покрытия увеличилась от единичных участков до 5 %.

Заключение

Таким образом, с позиций динамической типологии И.С. Мелехова [3] скорость и направление изменений за 70-летний период позволяют рассматривать сосняк ягодниково-зеленомошный как этап относительно ускоренного формирования нового типа – сосняка черничника зеленомошного с тенденцией смены сосны елью в новом поколении и развитием, хотя и медленным, процесса заболачивания леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов К.Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометиздат, 1975. 126 с.
2. Леонтьев А.М. Из материалов изучения режима почвенно-грунтовых вод в характерных типах леса // Тр. Дарвин. заповед. 1968. Вып. 9. С. 5–42.
3. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
4. Мухин А.К. Влияние Рыбинского водохранилища на положение уровня грунтовых вод на примере Мшичинского экологического профиля Дарвинского заповедника // Материалы Вологод. обл. науч.-практ. конф. 2015. Вып. 11. С. 102–109.
5. Писанов В.С. Этап формирования сосняка ягодниково-зеленомошного в условиях заповедности и влияния водохранилища // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 111–113. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Писанов В.С. Динамика заболачивающихся сосняков в условиях подтопления Рыбинским водохранилищем // Лесоведение. 1996. № 4. С. 20–28.
7. Писанов В.С., Мухин А.К. Динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния Рыбинского водохранилища // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 16–21. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Писанов В.С., Ульянов И.Н. Динамика ягодниково-зеленомошного сосняка в условиях влияния водохранилища // Лесн. журн. 2002. № 1. С. 38–43. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Тюрин А.В., Науменко И.М., Воропанов П.В. Лесная вспомогательная книжка. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. 40 с.
10. Успенская А.А. Материалы к изучению почвенного покрова основных типов лесов Дарвинского заповедника // Тр. Дарвинского заповедника. 1968. Вып. 9. С. 123–181.
11. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: ЛГУ, 1964. С. 447.
12. Eggers J., Lindner M., Zudin S., Zaehle S., Liski J. Impact of Changing Wood Demand, Climate and Land Use on European Forest Resources and Carbon Stocks During the 21st Century // Global Change Biology. 2008. No. 14, iss. 10. Pp. 2288–2303. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01653.x

13. Groffman P.M., Morse J.L., Rustad L.E., Campbell J.L., Green M.B., Templer P.H., Soggi A.M., Christenson L.M., Lany N.K., Vadeboncoeur M.A., Schaberg P.G., Pardo L.H., Wilson G.F., Driscoll C.T., Johnson C.E., Fahey T.J., Fisk M.C., Goodale C.L., Hamburg S.P., Mitchell M.J., Rodenhouse N.L. Long-Term Integrated Studies Show Complex and Surprising Effects of Climate Change in the Northern Hardwood Forest // *BioScience*. 2012. Vol. 62, iss. 12. Pp. 1056–1066.
14. Hurmekoski E., Hetemäki L. Studying the Future of the Forest Sector: Review and Implications for Long-Term Outlook Studies // *Forest Policy and Economics*. 2013. Vol. 34. Pp. 17–29.
15. Mohammadi Limaei S., Lohmander P., Olsson L. Dynamic Growth Models for Continuous Cover Multi-Species Forestry in Iranian Caspian Forests // *J. For. Sci.* 2017. Vol. 63, iss. 11. Pp. 519–529.
16. Pitkänen S. Effect of Tree Stand and Site Variables on Alpha Diversity of Ground Vegetation in the Forests of Northern Karelia // *Journal of Environmental Management*. 2000. Vol. 58, iss. 4. Pp. 289–295.
17. Rodenkirchen H. Nutrient Pools and Fluxes of the Ground Vegetation in Coniferous Forests due to Fertilizing, Liming and Amelioration // *Plant and Soil*. 1995. Vol. 168, iss. 1. Pp. 383–390.

Поступила 26.05.17

UDC 630*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.37

Multi-Year Dynamics of Green-Moss Pine Forests in the Zone of Indirect Influence of the Reservoir

A.K. Mukhin, *Research Officer*

Darwin State Nature Biosphere Reserve, 44, Borok, Cherepovets District, Vologda region, 162723, Russian Federation; e-mail: akm.ru@yandex.ru

The paper presents the study results of multi-year dynamics of forests of the Darwin Reserve, influenced by the Rybinsk Reservoir under the conditions of the changed natural environment. The reservoir is a powerful ecological factor, which implies the need to study the state of coastal ecosystems. The tendencies and patterns of their dynamics have been poorly studied. Investigations of forests growing under conditions of long-term influence of the reservoir are based on the principles of dynamic typology, which have been well tested by I.S. Melekhov in studying the early stages of life of anthropogenic forests. For the first time, we have obtained data for mature and overmature forests. They introduce significant changes in the concept of sustainability of the forest type in the stage of a mature forest stand, or the formed type of forest. The object of research is berry green-moss pine forest, growing on the low ridge among swamp sphagnum forests in the zone of indirect influence of the reservoir. The research objective is to demonstrate the accelerated processes of forest growth and development in the conditions of the changed natural environment. The method of procedure consists in a detailed description and analysis of all components of the phytocenosis. We pay special attention to the stand both as an edifier of the forest type and live ground cover and as an indicator of soil and hydrological conditions. On the basis of materials obtained over a 70-year period and in terms of dynamic typology we have come to a conclusion to consider a berry green-moss pine forest as a stage of relatively accelerated formation of a new forest type – a bilberry green-moss pine forest. This type has a tendency

For citation: Mukhin A.K. Multi-Year Dynamics of Green-Moss Pine Forests in the Zone of Indirect Influence of the Reservoir. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 37–46. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.37

to change pine by spruce in a new generation and the development of a bogging process. These conclusions, confirming the provisions of I.S. Melekhov's dynamic typology, are important for forest science and practice when conducting monitoring studies in the reserve.

Keywords: zone of direct and indirect influence of the reservoir, dynamic forest typology, bogging, ground water.

REFERENCES

1. D'yakonov K.N. *Vliyanie krupnykh ravninnykh vodokhranilishch na lesa pribrezhnoy zony* [Influence of Large Plain Reservoirs on Coastal Area Forests]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1975. 126 p. (In Russ.)
2. Leont'ev A.M. Iz materialov izucheniya rezhima pochvenno-gruntovykh vod v kharakternykh tipakh lesa [From the Study Materials of the Groundwater Mode in the Typical Forest Types]. *Trudy Darvinskogo zapovednika* [Proc. Darwin Reserve], 1968, iss. 9, pp. 5–42.
3. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Silviculture]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p. (In Russ.)
4. Mukhin A.K. Vliyanie Rybinskogo vodokhranilishcha na polozhenie urovnya gruntovykh vod na primere Mshichinskogo ekologicheskogo profilya Darvinskogo zapovednika [Influence of the Rybinsk Reservoir on the Groundwater Level Situation on the Example of the Mshichin Ecological Profile of the Darwin Reserve]. *Materialy Vologod. obl. nauch.-prakt. konf.* [Proc. Vologda Regional Sci. Practical Conf.], 2015, iss. 11, pp. 102–109. (In Russ.)
5. Pisanov V.S. Etap formirovaniya sosnyaka yagodnikovo-zelenomoshnogo v usloviyakh zapovednosti i vliyaniya vodokhranilishcha [The Formation Stage of Berry Green-Moss Pine Forest in the Conditions of the Reserve and the Influence of the Reservoir]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1991, no. 4, pp. 111–113.
6. Pisanov V.S. Dinamika zabolachivayushchikhsya sosnyakov v usloviyakh podtopleniya Rybinskim vodokhranilishchem [Dynamics of Eutrophic Pine Forests under Conditions of Flooding by the Rybinsk Reservoir]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1996, no. 4, pp. 20–28.
7. Pisanov V.S., Mukhin A.K. Dinamika zelenomoshnykh sosnyakov v zone kosvennogo vliyaniya Rybinskogo vodokhranilishcha [Dynamics of Moss Pine Stands in the Area of Indirect Impact of Rybinsk Reservoir]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 1, pp. 16–21.
8. Pisanov V.S., Ul'yanov I.N. Dinamika yagodnikovo-zelenomoshnogo sosnyaka v usloviyakh vliyaniya vodokhranilishcha [Dynamics of Berry-shaped True Moss Pine Stands under Influence of Water Storage Basin]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2002, no. 1, pp. 38–43.
9. Tyurin A.V., Naumenko I.M., Voropanov P.V. *Lesnaya vspomogatel'naya knizhka* [Forest Supplementary Book]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1956, 40 p. (In Russ.)
10. Uspenskaya A.A. Materialy k izucheniyu pochvennogo pokrova osnovnykh tipov lesov Darvinskogo zapovednika [The Materials to Study the Soil Cover of the Main Forest Types of the Darwin Reserve]. *Trudy Darvinskogo zapovednika* [Proc. Darwin Reserve], 1968, iss. 9, pp. 123–181.
11. Shennikov A.P. *Vvedenie v geobotaniku* [Introduction to Geobotany]. Leningrad, LSU Publ., 1964. p. 447. (In Russ.)
12. Eggers J., Lindner M., Zudin S., Zaehle S., Liski J. Impact of Changing Wood Demand, Climate and Land Use on European Forest Resources and Carbon Stocks During the 21st Century. *Global Change Biology*, 2008, no. 14, iss. 10, pp. 2288–2303. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01653.x

13. Groffman P.M., Morse J.L., Rustad L.E., Campbell J.L., Green M.B., Templer P.H., Soggi A.M., Christenson L.M., Lany N.K., Vadeboncoeur M.A., Schaberg P.G., Pardo L.H., Wilson G.F., Driscoll C.T., Johnson C.E., Fahey T.J., Fisk M.C., Goodale C.L., Hamburg S.P., Mitchell M.J., Rodenhouse N.L. Long-Term Integrated Studies Show Complex and Surprising Effects of Climate Change in the Northern Hardwood Forest. *BioScience*, 2012, vol. 62, iss. 12, pp. 1056–1066.

14. Hurmekoski E., Hetemäki L. Studying the Future of the Forest Sector: Review and Implications for Long-Term Outlook Studies. *Forest Policy and Economics*, 2013, vol. 34, pp. 17–29.

15. Mohammadi Limaei S., Lohmander P., Olsson L. Dynamic Growth Models for Continuous Cover Multi-Species Forestry in Iranian Caspian Forests. *J. For. Sci.*, 2017, vol. 63, iss. 11, pp. 519–529.

16. Pitkänen S. Effect of Tree Stand and Site Variables on Alpha Diversity of Ground Vegetation in the Forests of Northern Karelia. *Journal of Environmental Management*, 2000, vol. 58, iss. 4, pp. 289–295.

17. Rodenkirchen H. Nutrient Pools and Fluxes of the Ground Vegetation in Coniferous Forests due to Fertilizing, Liming and Amelioration. *Plant and Soil*, 1995, vol. 168, iss. 1, pp. 383–390.

Received on May 26, 2017

УДК 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47

ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОДРОСТА ЕЛИ РАЗНЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ДРЕВОСТОЯ

А.С. Матвеева, асп.

Н.В. Беляева, д-р с.-х. наук, проф.

Д.А. Данилов, канд. с.-х. наук, доц.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: petkina92@mail.ru, galbel06@mail.ru, stown200@mail.ru

В статье рассмотрены особенности взаимосвязи полога древостоя и возрастной структуры феноформ подроста ели. Анализ проведен для условий зеленомошной группы типов леса в лесном фонде Ленинградской области. Учет подроста по выборочно-статистическому методу осуществлен на круговых площадках (по 10 м² каждая), заложенных на одинаковом расстоянии друг от друга по свободному ходу. При выполнении учетных работ подрост ели под пологом распределен по трем группам высот (мелкий, средний, крупный) и трем фенологическим формам (ранняя, переходная, поздняя). Исследования естественного возобновления ели под пологом леса проведены в 2011, 2014 и 2015 гг. на территории опытного лесного хозяйства «Сиверский лес» в Карташевском, Орлинском, Дружносельском и Онцевском участковых лесничествах Гатчинского лесничества Ленинградской области (объекты заложены в 1929, 1970 и 1980 гг.), а также на территории экологического стационара, расположенного в Лисинском участковом лесничестве Учебно-опытного лесничества Ленинградской области (объекты заложены в 1981–1982 гг.). Полученные материалы свидетельствуют о том, что средний возраст подроста ели по фенологическим формам различается. Наименьший средний возраст отмечен у подроста поздней формы, у подроста ранней и переходной форм средний возраст больше на 2–4 года. Подобная закономерность характерна как для жизнеспособного, так и нежизнеспособного подроста. Установлено, что с увеличением относительной полноты, возраста и запаса древостоев увеличивается возраст подроста всех фенологических форм независимо от категорий крупности и состояния жизнеспособности. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на возрастную структуру подроста ели влияет режим освещенности под пологом древостоя. Наиболее высокий возраст молодого поколения ели отмечен в условиях кисличного типа леса.

Ключевые слова: хвойный древостой, естественное возобновление ели, фенологические формы и возрастная структура подроста ели.

Введение

Ель в нашей стране является второй после сосны важнейшей древесной породой. Она отличается весьма широкой амплитудой внутривидовой изменчивости и содержит много морфологических, фенологических и иных форм [4, 19, 34–36, 38, 39, 44]. Следовательно, многообразие форм необходимо использовать и учитывать при назначении лесохозяйственных мероприятий по повышению продуктивности ельников и их устойчивости [4–6, 16, 43].

Для цитирования: Матвеева А.С., Беляева Н.В., Данилов Д.А. Возрастная структура подроста ели разных фенологических форм в зависимости от состава и строения древостоя // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 47–60. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47

Имеющиеся в литературе данные достаточно противоречивы. Одни исследователи считают, что у фенологических форм подроста ели генетическая обусловленность [28, 30, 32, 33, 37, 41, 42], другие предполагают, что на их фенологическую структуру влияют внешние факторы [3, 23, 27, 29]. По данным одних авторов в насаждениях преобладает ранняя форма ели, другие утверждают, что поздняя форма [8–10].

Некоторые ученые считают, что рост в высоту у различных фенологических форм подроста ели одинаковый [2, 21, 40]. Результаты, полученные другими, свидетельствуют, что ранняя форма ели имеет больший прирост, чем поздняя [15, 18, 26]. Встречаются упоминания о том, что на ход роста и состояние разных фенологических форм ели влияют погодные условия [14, 17, 24, 25] и район ее ареала [1, 15, 20, 27–29, 31, 44, 45].

Исследования, проведенные нами в древостоях с различным составом и строением, а также в различных типах леса, позволили выявить закономерности влияния материнского древостоя на структуру подроста ели по возрасту и высоте, его жизнеспособность и распределение по фенологическим формам.

Объекты и методы исследования

Фенологические признаки молодого поколения ели изучали в ельниках, сосняках и березняках зеленомошной группы типов леса. Учет естественного возобновления ели под пологом древостоев проводили весной 2011 г. (пробные площади (ПП) А, Б, В), 2014 г. (ПП 1, ПП 6, ПП 18, ПП Л) и 2015 г. (ПП 1Л, 2Л, 17А, 17В, 18А, 18В, 19А, 19В) двумя методами (сплошной пересчет и выборочно-статистический метод) с использованием разработок А.В. Грязькина и Н.В. Беляевой [12].

Методика выделения фенологических форм различна [7, 11]. В наших исследованиях для выделения фенологических форм использовалась методика А.В. Грязькина [11]. Выделение фенологических форм производили с применением феноиндикаторов: к ранней форме относили биотипы ели, у которых терминальная почка начинала распускаться до зацветания черемухи обыкновенной, к поздней – после зацветания рябины обыкновенной или в начале пыления сосны обыкновенной, к переходной – все остальные случаи.

При проведении первого учета на каждый экземпляр подроста ели прикрепляли бирку с номером. При регистрации фенологической формы подроста одновременно фиксировали его номер. Так можно проследить, как изменяется феноформа каждого отдельного экземпляра подроста по годам. Наши исследования показали, что в последующие годы фенологическая форма подроста оставалась неизменной (учеты с 2011 по 2015 г.).

Соотношение по фенологическим формам на всех объектах исследования: ранняя форма – 30 %, переходная – 30 %, поздняя – 40 % (табл. 1).

Возраст подроста определяли и по годичным рубцам с точностью до 1 года.

Сплошной пересчет выполняли и на лентах шириной 5 м, разделенных на квадраты 5×5 м.

Учет подроста по выборочно-статистическому методу осуществляли на круговых площадках (площадь каждой – 10 м^2), закладываемых на одинаковом расстоянии друг от друга по свободному ходу [13, 22].

Таблица 1

Численность и встречаемость подроста ели разных фенологических форм

Преобладающая порода	Численность (без учета сухого)		Встречаемость, %
	экз./га	%	
Ранняя форма			
Ель	773±78	31,0	57,0
Сосна	158±43	36,5	19,6
Сосна + Ель	448±62	20,5	35,4
Ель + Береза	882±80	24,2	76,8
Среднее по всем ПП	533±65	29,4	42,5
Переходная форма			
Ель	512±79	22,7	49,4
Сосна	184±43	33,0	22,5
Сосна + Ель	481±57	35,9	60,3
Ель + Береза	1500±150	40,6	83,9
Среднее по всем ПП	461±65	29,6	46,7
Поздняя форма			
Ель	1080±105	46,3	69,1
Сосна	238±42	30,5	23,0
Сосна + Ель	775±82	43,6	65,1
Ель + Береза	1132±110	35,2	80,4
Среднее по всем ПП	783±83	41,0	56,5

Учет естественного возобновления ели под пологом леса проводили на 23 ПП на территории опытного лесного хозяйства «Сиверский лес» в Карташевском, Орлинском, Дружносельском и Онцевском участковых лесничествах Гатчинского лесничества Ленинградской области (объекты серии ПП 1 были заложены в 1929 г., серий ПП 6, 1Л, 2Л, 17А, 17В, 18А, 18В, 19А, 19В – в 1970 г., серии ПП 18 – в 1980 г.), а также на территории экологического стационара, расположенного в Лисинском участковом лесничестве Учебно-опытного лесничества Ленинградской области (ПП А, Б, В, Д – заложены в 1981–1982 гг.).

Схема закладки учетных площадок (шт.) на пробных площадях: ПП 1Л – 61, 2Л – 60, 17А – 60, 17В – 60, 18А – 57, 18В – 59, 19А – 45, 19В – 48, 1А – 56, 1В – 39, 1С – 50, 1Д – 54, 1Е – 45, 6-2 – 60, 6-3 – 62, 6-9 – 70, 18-1 – 41, 18-2 – 62, 18-3 – 75; на секциях экологического стационара: Б – 469, В – 453, Д – 420.

Таксационная характеристика древостоев по данным последнего обследования представлена в табл. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования установлено, что в целом возраст подроста ели ранней и переходной форм больше, чем поздней (табл. 3–5). Данная закономерность характерна как для жизнеспособного, так и нежизнеспособного подроста. Возраст подроста поздней формы независимо от состояния жизнеспособности в среднем на 2–4 года меньше (табл. 3).

Сравнение представленных в табл. 1 и 2 данных показало, что под пологом древостоя наибольший возраст имеет подрост ели переходной формы, относящийся к категории нежизнеспособного. При этом выявлена закономерность увеличения возраста жизнеспособного подроста от поздней формы к ранней. В среднем (по всем объектам) подрост ранней формы старше переходной и поздней на 2,0–3,5 года.

Таблица 2

Характеристика объектов исследования

Год	ПП	Ярус	Состав древостоя	Возраст преобладающей породы	Класс бонитета	Тип леса	Относительная полнота
2009	1А	I	10Б+Ос+С	123	Ia	Б.КС	1,2
	1В	II	10Е				
	1С	I	9Е1С	123	I	Е.КС	0,5
	1D	I	9Е1С	123	I	Е.КС	0,5
	1Е	I	8Е2С	123	I	Е.КС	0,6
2011		I	10Е+С	123	I	Е.КС	0,7
	А	I	9Е1Б ед. II, Ол	90	II	Е.КС	0,4
	Б	I	8Е2С+Б	90	II	Е.КС	0,6
2014	В	I	7Е3С+Б	90	II	Е.КС	0,3
	6-2	I	10С	75	I	С.БР	0,9
	6-3	I	10С	78	I	С.БР	0,7
	6-9	I	10С	82	Ia	С.БР	0,8
	18-1	I	5Е4С1Ос+Б	89	II	Е.ЧС	0,8
	18-2	I	7Е3С+Ос,Б	89	I	Е.ЧС	1,0
	18-3	I	5Е4С1Ос+Б	89	II	Е.ЧВ	0,7
	Л	I	9Е1Б+Ос	45	I	Е.ЧС	0,2
	1Л	I	10С	97	Ia	С.ЧВ	1,2
	2Л	II	9Е1Б				
2015	17А	I	9Е1С+Б,Ос	111	III	Е.ЧС	0,6
	17В	I	8С1Е1Б	85	Ia	С.ЧВ	0,9
		I	10С	85	I	С.ЧВ	1,2
	18А	II	5Е5Б				
		I	10С	96	I	С.ЧОС	1,0
	18В	II	7Е2Б1Ос				
	19А	I	4С4Е2Б	96	I	С.ЧОС	1,0
		I	5С2Е2Б1Ос	86	Ia	С.ЧС	0,7
	19В	I	6С2Е2Б	86	I	С.ЧВ	0,6

Примечание: Б.КС – березняк кисличный, Е.КС – ельняк кисличный, С.БР – сосняк бруснично-еловый, Е.ЧС – ельняк черничный свежий, Е.ЧВ – ельняк черничный влажный, С.ЧВ – сосняк черничный влажный, С.ЧОС – сосняк черничный осушенный, С.ЧС – сосняк черничный свежий.

Для проверки закономерности влияния фенологических форм на возрастную структуру жизненных категорий состояния был проведен однофакторный дисперсионный анализ, который показал статистически значимую зависимость только для переходной и поздней форм елового подроста и не выявил ее для ранней формы (табл. 3 и 6).

Таблица 3

Возраст (лет) подроста ели всех фенологических форм по состоянию

Преобладающая порода	Жизнеспособный подрост	Нежизнеспособный подрост
<i>Ранняя форма</i>		
Ель	16,8	11,7
Сосна	18,1	17,0
Сосна + Ель	18,8	21,2
Ель + Береза	24,0	22,1
Среднее	18,0	16,3
<i>Переходная форма</i>		
Ель	13,6	18,1
Сосна	17,3	19,6
Сосна + Ель	16,0	16,0
Ель + Береза	24,7	25,6
Среднее	16,2	18,6
<i>Поздняя форма</i>		
Ель	10,4	10,3
Сосна	18,6	19,5
Сосна + Ель	15,9	15,8
Ель + Береза	19,6	22,5
Среднее	14,4	14,6

Примечание. Для ранней феноформы фактический критерий Фишера $F_{\phi} = 1,290$, теоретический $F_T = 2,140$ ($p = 5\%$); для переходной – соответственно $F_{\phi} = 3,021$, $F_T = 2,320$ ($p = 5\%$); для поздней – $F_{\phi} = 7,660$, $F_T = 2,130$ ($p = 5\%$).

Подрост ели независимо от фенологических форм и состояния жизнеспособности старше под пологом сосновых древостоев (елово-березовый древостой представлен одним опытным участком, поэтому его нельзя сравнивать с другими). Наименьший возраст подроста – под пологом еловых древостоев (табл. 4).

Таблица 4

Средний возраст (лет) подроста ели всех фенологических форм по категориям жизнеспособности под пологом хвойных древостоев

Материнские древостои	Жизнеспособный подрост	Нежизнеспособный подрост
Еловые	13,6	13,4
Сосновые	18,0	18,7
Сосново-еловые	16,9	17,7
Среднее	16,2	16,6

Скорее всего, это связано со степенью освещенности под пологом ельников [5]. Чем ниже освещенность, тем меньше средний возраст подроста ели, так как происходит интенсивный отпад.

Также было установлено, что под пологом еловых древостоев наибольший возраст имеет подрост переходной фенологической формы, под пологом сосняков – поздней формы, под пологом смешанных сосново-еловых древостоев – подрост ели ранней формы (табл. 5).

Таблица 5

**Средний возраст (лет) подроста ели по фенологическим формам
под пологом хвойных древостоев**

Материнские древостои	Фенологическая форма			Среднее
	ранняя	переходная	поздняя	
Еловые	14,2	15,8	10,3	13,4
Сосновые	17,5	18,4	19,1	19,7
Сосново-еловые	20,0	16,0	15,8	17,3
Среднее	17,2	16,7	15,1	—

Опираясь на полученные результаты, можно предположить, что под пологом сосновых древостоев складываются наиболее благоприятные условия для роста и развития подроста ели.

В ходе дальнейших исследований было установлено, что с увеличением относительной полноты древостоя возраст как жизнеспособного, так и нежизнеспособного подроста всех фенологических форм повышается. С увеличением возраста древостоя возраст подроста ранней и переходной форм независимо от категорий состояния растет, поздней – снижается. С увеличением запаса древостоя возраст подроста всех фенологических форм независимо от категорий состояния повышается.

Как видно из данных рис. 1–3, в брусничном и кисличном типах леса прежде всего появляется подрост переходной формы, в остальных типах леса – ранней формы. При этом среди жизнеспособного подроста старше всех подрост ранней формы во всех типах леса, кроме брусничного.

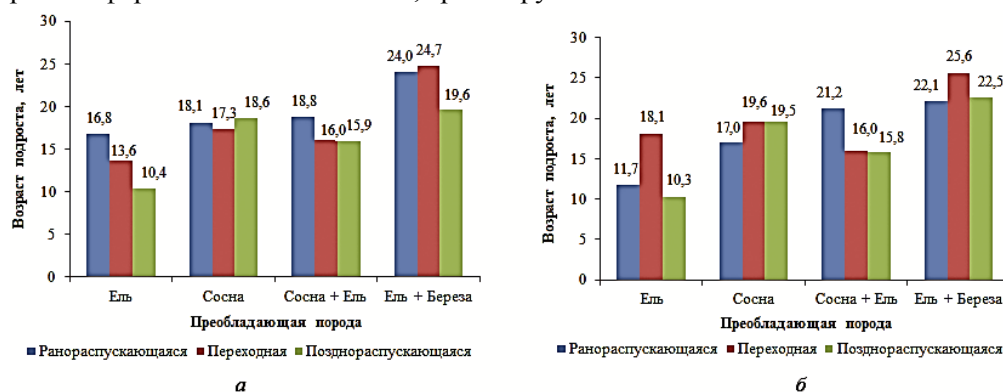


Рис. 1. Возраст жизнеспособного (а) и нежизнеспособного (б) подроста ели разных фенологических форм в древостоях с разными преобладающими породами

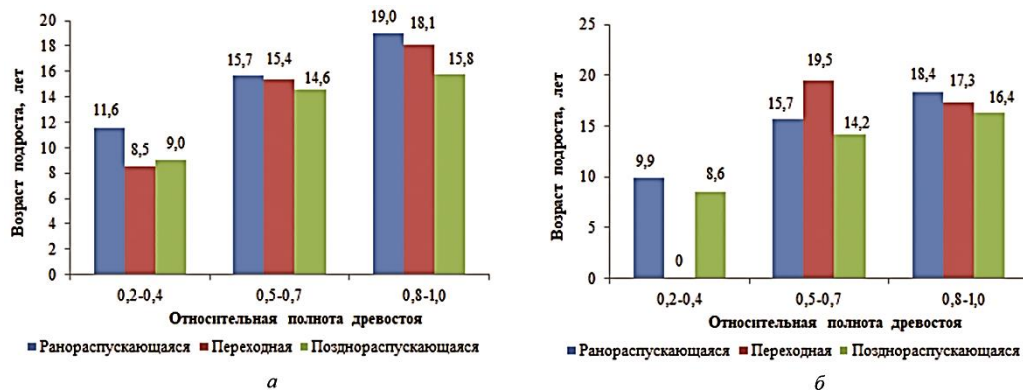


Рис. 2. Возраст жизнеспособного (а) и нежизнеспособного (б) подроста ели разных фенологических форм в зависимости от относительной полноты древостоя

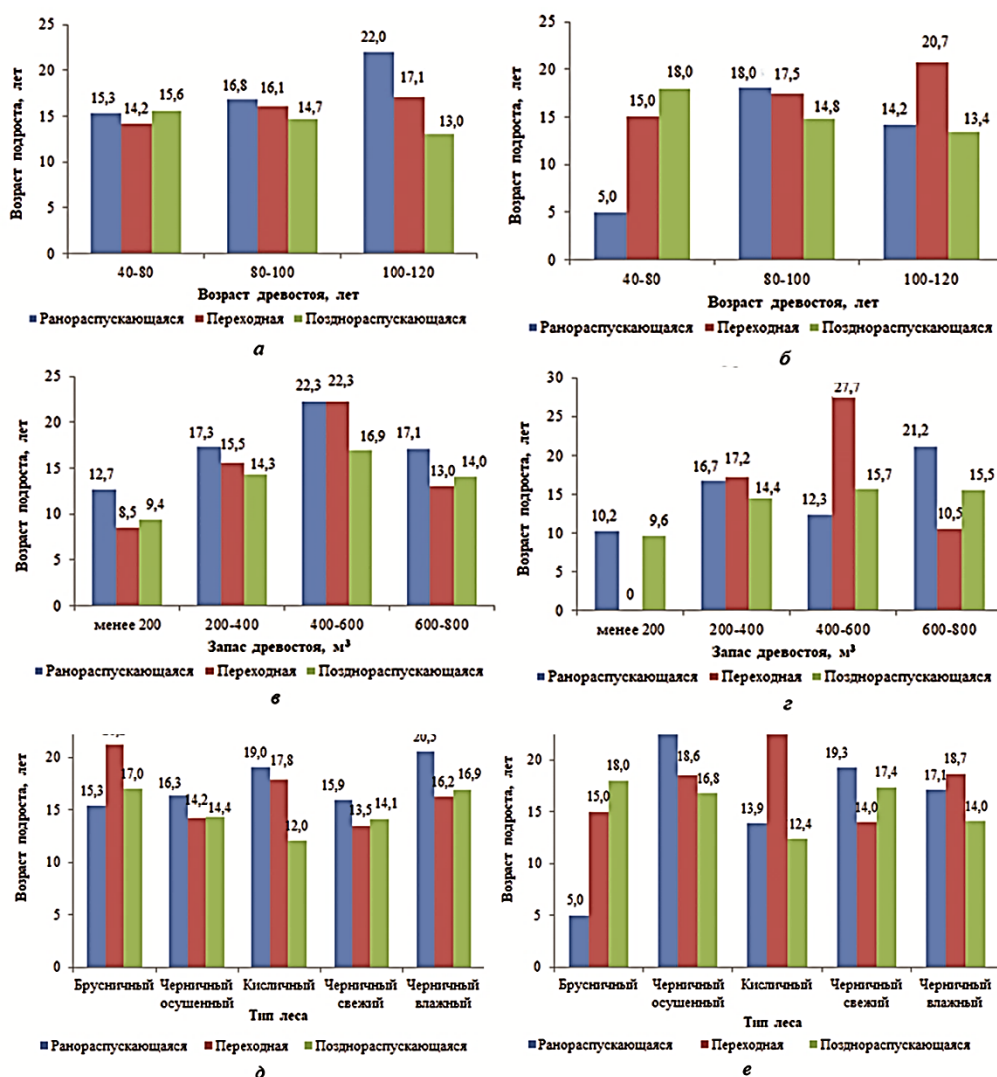


Рис. 3. Возраст жизнеспособного (а, в, д) и нежизнеспособного (б, г, е) подроста ели разных фенологических форм в зависимости от возраста древостоя (а, б), его запаса (в, г) и типа леса (д, е)

Анализируя данные возраста подрост ели различных феноформ по категориям крупности, можно сделать вывод, что независимо от категории крупности и состояния жизнеспособности подрост переходной формы старше. В среднем мелкий подрост этой формы старше на 1,4–1,5 года, средний – на 1,2–2,5 года, крупный – на 1,9–2,9 года (табл. 6).

Независимо от феноформ и категорий крупности подрост ели старше под пологом елово-березовых древостоев, младше – под пологом еловых.

С увеличением относительной полноты, возраста и запаса древостоя возраст подрост всех фенологических форм повышается независимо от категорий крупности. Самый высокий возраст у подрост переходной формы всех категорий крупности в кисличном типе леса.

Вышеперечисленные закономерности применимы как для всего подрост ели разных категорий крупности, отличающегося фенологическими формами, так и для жизне- и нежизнеспособного подрост.

Таблица 6

Возраст (лет) подроста ели по группам высот			
Преобладающая порода	Мелкий подрост	Средний подрост	Крупный подрост
<i>Ранняя форма</i>			
Ель	7,3	12,1	23,2
Сосна	10,3	16,6	26,4
Сосна + Ель	11,9	19,6	24,3
Ель + Береза	15,8	25,1	31,1
Среднее	9,5	15,8	24,7
<i>Переходная форма</i>			
Ель	10,0	16,8	27,3
Сосна	11,4	18,9	23,5
Сосна + Ель	11,0	18,1	27,6
Ель + Береза	15,3	26,1	35,0
Среднее	10,9	18,3	26,6
<i>Поздняя форма</i>			
Ель	7,4	13,6	17,9
Сосна	11,1	20,6	20,1
Сосна + Ель	11,0	18,7	32,9
Ель + Береза	14,3	24,8	36,2
Среднее	9,4	17,1	23,7

Примечание. Для ранней феноформы – $F_{\phi} = 1,55$, $F_{\tau} = 1,86$ ($p = 5\%$); для переходной – соответственно $F_{\phi} = 0,87$, $F_{\tau} = 1,93$ ($p = 5\%$); для поздней – $F_{\phi} = 1,21$, $F_{\tau} = 1,92$ ($p = 5\%$).

Судя по обобщенным данным, средний возраст подроста ели по группам высот различается существенным образом по всем фенологическим формам (табл. 7). При этом прослеживается тенденция к увеличению среднего возраста от жизнеспособного к нежизнеспособному подросту. В отдельных случаях различия составляют более 10 лет (крупный подрост переходной фенологической формы под пологом ельников).

Таблица 7

Средний возраст (лет) подроста ели по фенологическим формам, виталитету и группам высот

Преобладающая порода	Феноформа	Жизнеспособный подрост			Нежизнеспособный подрост		
		мелкий	средний	крупный	мелкий	средний	крупный
Ель	Поздняя	7,5	13,2	18,0	7,6	13,3	13,7
	Переходная	9,0	12,5	26,4	12,7	17,7	38,0
	Ранняя	7,1	12,2	24,9	8,1	12,1	17,8
	Среднее	7,9	12,6	23,1	9,5	14,4	23,2
Сосна	Поздняя	10,9	20,3	20,1	10,4	23,2	–
	Переходная	11,8	16,8	21,1	11,2	20,3	27,5
	Ранняя	10,5	15,7	26,2	9,0	19,3	31,0
	Среднее	11,1	17,6	22,5	10,2	20,9	29,3
Сосна + Ель	Поздняя	11,1	18,1	33,3	11,8	17,5	27,8
	Переходная	10,2	18,5	27,7	12,4	17,2	31,2
	Ранняя	11,3	19,9	26,4	16,2	20,7	21,7
	Среднее	10,9	18,8	29,1	13,5	18,5	26,9
Среднее по всем ПП	Поздняя	9,2	16,4	22,4	10,0	17,5	21,8
	Переходная	10,2	16,4	25,7	12,6	18,9	32,8
	Ранняя	9,4	15,9	25,8	10,4	16,7	21,6
	Среднее	9,6	16,2	24,6	11,0	17,7	25,4

Примечание. Для ранней феноформы – $F_{\phi} = 1,88$, $F_{\tau} = 1,68$ ($p = 5\%$); для переходной – соответственно $F_{\phi} = 2,58$, $F_{\tau} = 1,74$ ($p = 5\%$); для поздней – $F_{\phi} = 2,12$, $F_{\tau} = 1,69$ ($p = 5\%$).

Проведенный однофакторный дисперсионный анализ по группам высот для всех категорий фенологических форм не выявил достоверного влияния их на возраст подроста ели. Однако по жизненному состоянию и группам высот различия в возрасте между фенологическими формами более выражены, чем случайные различия внутри каждой группы ($p < 0,05$), т. е. феноформы обуславливают возрастные рамки подроста ели по высотным параметрам. Следовательно, в терминах статистических гипотез можно утверждать, что гипотеза о сходстве выборок H_0 может быть отвергнута на уровне 5 %, в этом случае принимается гипотеза H_1 . Накопления в возрастных группах всех форм подроста можно интерпретировать как факт адаптационной реакции у молодой части популяции ели под пологом взрослого древостоя. Обострение дифференциации среди деревьев подроста ели приводит к более тесной обусловленности возраста подроста и его высотной группировки.

Выводы

1. Под пологом ельников преобладает подрост поздней фенологической формы, под пологом сосняков – ранней.
2. Средний возраст подроста ели по фенологическим формам различается: независимо от фенологических форм и состояния жизнеспособности он старше под пологом сосновых древостоев.
3. Структура подроста ели по фенологическим формам в разрезе типов леса различна: доля ранней формы в среднем на 15...30 % выше в кисличном и брусничном типах леса, чем в черничном типе леса.
4. Наибольший возраст подроста ели отмечается в условиях кисличного типа леса, наименьший – в условиях черничного типа.
5. С увеличением относительной полноты, возраста и запаса древостоя возраст подроста всех феноформ повышается независимо от категорий крупности и состояния жизнеспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акакиев Ф.И. Значение фенологических форм ели для массовой селекции в условиях южной Карелии // Изв. Карел. и Кол. фил. АН СССР. 1959. № 1. С. 130–138.
2. Акакиев Ф.И. Некоторые биологические особенности и лесохозяйственное значение фенологических форм ели: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1960. 16 с.
3. Алексеев В.И. Некоторые вопросы сезонного роста и развития подроста ели // Сезонное развитие природы европейской части СССР. М., 1974. С. 32–33.
4. Бабич Н.А., Комарова А.М., Соколова Е.Б. Формы ели и их лесосеменное значение // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 22–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Беляева Н.В., Грязькин А.В. Ход роста рано- и позднораспускающейся фенологических форм подроста ели // Науч. обозрение. 2012. № 6. С. 36–42.
6. Веверис А.Л. Лесохозяйственное значение рано- и позднораспускающихся елей // Вопросы лесной селекции и семеноводства в Латвийской ССР: сб. науч. тр. Рига, 1969. С. 135–152.
7. Веверис А.Л. О методике выделения рано- и позднораспускающихся елей // Лесоведение. 1969. № 2. С. 83–84.
8. Волович П.И. Соотношение ели по составу фенологических форм и использование лучших климатипов в лесокультурной практике Белорусской ССР // Интенсификация лесного хозяйства в БССР. Минск, 1978. С. 79–88.
9. Габрилавичус Р.Б. Рано- и позднораспускающаяся ель в лесах Литовской ССР // Тр. Литов. НИИ лесн. хоз-ва. Рига, 1977. Вып. 17. С. 118–121.

10. Грязькин А.В. О соотношении количества подроста ели по фенологическим формам под пологом и на вырубке // Лесоводство и экология: современные проблемы и пути их решения. Брянск: БГИТА, 1996. С. 104–108.
11. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России): моногр. СПб.: СПбГЛТА, 2001. 188 с.
12. 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).
13. Мартынов А.Н., Сеннов С.Н., Грязькин А.В. Естественное возобновление леса. СПб.: СПбЛТА, 1994. 42 с.
14. Мельник П.Г., Савостин С.М. Особенности сезонного роста экотипов ели в условиях Солнечногорского опытного лесхоза // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: науч. тр. МГУЛ. М., 1995. Вып. 280. С. 62–63.
15. Милютин Л.И. Формы ели Брянской области, их лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1963. 20 с.
16. Морозов Г.П. Фенотипическая структура ели // Коренные темнохвойные леса южной тайги (резерват Кологривский лес). М.: Наука, 1988. С. 162–175.
17. Пальцев А.М. Сезонный рост географических культур ели обыкновенной в Московской области // Лесоведение. 1980. № 6. С. 11–18.
18. Попов В.Я., Тучин П.В., Сурсо М.В., Васильев А.А. Рост и развитие форм ели на плантации семенного происхождения: отчет. годич. сес. по итогам науч.-исслед. работ за 1984 г. Архангельск: АИЛиЛХ, 1985. С. 31–32.
19. Прохорова Е.В., Прохорова А.А. Анализ фенотипической структуры клоновых потомств ели в архиве // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 15–19. (Изв. высш. учеб. заведений).
20. Редько Г.И., Дурсин А.Д. Географические культуры ели. Л.: ЛТА, 1982. 59 с.
21. Ронис, Э.Я., Веверис А.Л. О некоторых формах ели обыкновенной в лесах Латвийской ССР // Исследования о природе древесных пород. Рига: АН ЛатвССР, 1964. С. 5–20.
22. Способ учета подроста: пат. Рос. Федерация 2084129: МКИ С 6 А 01 G 23/00 / Грязькин А.В. № 94022328/13; заявл. 10.06.94; опубл. 20.07.97. Бюл. № 20. 3 с.
23. Тарханов С.Н. Фенологические формы в географических культурах ели в Коми АССР // Вопросы искусственного лесовосстановления на Европейском Севере. Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. С. 73–80.
24. Тарханов С.Н. Изменчивость ели в географических культурах Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 195 с.
25. Тарханов С.Н., Щекалев Р.В. Эндогенная и внутривидовая изменчивость полигенных признаков *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. в бассейне Северной Двины при атмосферном загрязнении // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2007. № 5. С. 125–131.
26. Харитонов Г.А. Развитие рано- и позднораспускающихся рас *Picea excelsa* в связи с условиями местопроизрастания // Советская ботаника. 1937. № 4. С. 90–95.
27. Bertin S., Palmroth S., Kim H.S., Perks M.P., Mencuccini M., Oren R. Modeling Understorey Light for Seedling Regeneration in Continuous Cover Forestry Canopies // Forestry. 2011. Vol. 84, iss. 4. Pp. 397–409.
28. Birot Y., Christophe C. Genetic Structures and Expected Genetic Gains from Multitrait Selection in Wild Populations of Douglas Fir and Sitka Spruce. 1. Genetic Variation between and within Populations // Silvae genetica. 1983. Vol. 32, iss. 5-6. Pp. 141–151.
29. Blum B.M. Variation in the Phenology of Bud Flushing in White and Red Spruce // Can. J. Forest Res. 1988. Vol. 18, no. 3. Pp. 315–319.
30. Bouvarel P. Variabilité de l'Epicéa (*Picea excelsa* Link.) dans le Jura français. Répartition et caractères des divers types // Revue forestiere française. 1954. Vol. 6, no. 2. Pp. 85–98.
31. Broome A., Hendry S., Peace A. Annual and Spatial Variation in Coning Shown by the Forest Condition Monitoring Programme Data for Norway Spruce, Sitka Spruce and Scots Pine in Britain // Forestry. 2007. Vol. 80, iss. 1. Pp. 17–28.

32. *Holzer K., Schultze U.* Die Abhängigkeit des Fiechtensaustriebes vom Frühjahrsklima // *Osterr. Forstztg.* 1988. Vol. 99, no. 5. Pp. 59–60.
33. *Lindquist B.* Genetics in Swedish Forestry Practice. Stockholm: Svenska Skogsvarsforeningens Forlag, 1948. 173 p.
34. *Melechow H.* Zur Frage der natürlichen Verjüngung der Fichte auf Brandflächen // *Forstwissenschaftliches Centralblatt.* 1934. No. 56.
35. *Münch E.* Die Knospenentfaltung der Fichte und die Spätfrostgefahr // *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.* 1923. No. 11. Pp. 241–265.
36. *Oršanić M., Drvodelić D., Anić I., Mikac S., Barčić D.* Natural Regeneration of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stands on Northern Velebit // *Periodicum Biologorum.* 2008. Vol. 110, no. 2. Pp. 173–179.
37. *Purkyne E.* Über zwei in Mitteleuropa wachsende Fichtenformen // *Forst- und Jagdwesen.* 1877. Vol. 14, no. 23. Pp. 69–78.
38. *Quine C.P.* A Preliminary Survey of Regeneration of Sitka Spruce in Wind-Formed Gaps in British Planted Forests // *Forest Ecology and Management.* 2001. Vol. 151, iss. 1-3. Pp. 37–42.
39. *Rohmeder E.* Der jahreszeitliche Verlauf des Höhenwachstums früh- und spat treibender Fichten // *Forstwissenschaftliches Centralblatt.* 1952. Vol. 71, no. 11-12. Pp. 369–372.
40. *Rohmeder E.* Ergebnisse aus züchterischen Bearbeitung der Fichte in Bayern // *Forst- und Holzwirt.* 1963. Vol. 18, no. 5. Pp. 93–96.
41. *Rühl A.* Vorläufige Mittelung über das Auftreten rot- und grünzapfiger Fichten in Estland // *Tartu Ülikooli metsaosakonna toimetused.* 1928. No. 12.
42. *Schmidt E.* Die Reliktföhrenwälder der Alpen // *Beitr. z. geobot. Landesaufnahme d. Schweiz.* 1936. Vol. 21. 190 p.
43. *Schneider B., Roeder A.* Dynamics of Natural Regeneration of Norway Spruce under Shelters of Old Stands // *Allgemeine Forst-Zeitschrift.* 1993. Vol. 48 Extent: v. 57–60 (2).
44. *Schweiger J., Sterba H.* A Model Describing Natural Regeneration Recruitment of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Austria // *Forest Ecology and Management.* 1997. Vol. 97, no. 2. Pp. 107–118.
45. *Tjoelker M.G., Boratynski A., Wladyslaw B., eds.* Biology and Ecology of Norway Spruce // *Netherlands, Springer Netherlands.* 2007. Vol. 78. 474 p.

Поступила 06.09.17

UDC 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47

Age-Class Composition of Spruce Undergrowth of Different Phenological Forms Depending on the Stand Composition and Structure

A.S. Matveeva, Postgraduate Student

N.V. Belyaeva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

D.A. Danilov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: petkina92@mail.ru, galbel06@mail.ru, stown200@mail.ru

The article considers the relationship between the canopy of the stand and the age-class composition of the phenological forms of spruce undergrowth. The analysis was carried out for the conditions of a moss group of forest types in the forest fund of the Leningrad Region.

For citation: Matveeva A.S., Belyaeva N.V., Danilov D.A. Age-Class Composition of Spruce Undergrowth of Different Phenological Forms Depending on the Stand Composition and Structure. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 47–60. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.47

The undergrowth inventory was performed by the statistical sampling method on circular plots (10 m²), laid at the same distance from each other. Spruce undergrowth under the canopy was divided into three groups of heights (small, medium, large) and three phenological forms (early, transitional, late) during the inventory process. Studies of natural regeneration of spruce under the canopy were conducted in 2011, 2014 and 2015 in the territory of the experimental forestry “Siversky Forest” in the Kartashevskiy, Orlinskiy, Druzhnoselskiy and Ontsevskiy forest districts of the Gatchina Forestry in the Leningrad Region (the objects were laid in 1929, 1970 and 1980), and also in the territory of the ecological permanent study area located in the Lisino district forestry of the scientific-experimental forestry in the Leningrad Region (the objects were laid in 1981–1982). The average age of spruce undergrowth according to phenological forms differed. The authors marked the smallest average age in undergrowth of the late form; the average age of undergrowth of the early and transitional forms was 2–4 years longer. This pattern was typical for both vigorous and unviable undergrowth. With increasing of relative density, age and stock of stands, the age of undergrowth of all phenological forms increased, regardless of the size categories and the state of health. Based on the results obtained we can conclude that the age-class composition of spruce undergrowth is affected by the illumination regime under the canopy of the stand. The highest age of the young generation of spruce is noted in conditions of the sorrel forest type.

Keywords: coniferous stand, spruce natural regeneration, phenological forms and age-class composition of spruce undergrowth.

REFERENCES

1. Akakiev F.I. Znachenie fenologicheskikh form eli dlya massovoy seleksii v usloviyakh yuzhnoy Karelii [The Value of Phenological Forms of Spruce for Mass Breeding in the Conditions of Southern Karelia]. *Izvestiya Karel'skogo i Kol'skogo filialov AN SSSR*, 1959, no. 1, pp. 130–138.
2. Akakiev F.I. *Nekotorye biologicheskie osobennosti i lesokhozyaystvennoe znachenie fenologicheskikh form eli*: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Some Biological Features and Forest Management Significance of Phenological Forms of Spruce: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1960. 16 p.
3. Alekseev V.I. Nekotorye voprosy sezonnogo rosta i razvitiya podrosta eli [Some Questions of Seasonal Growth and Spruce Undergrowth Development]. *Sezonnoe razvitie prirody evropeyskoy chasti SSSR* [Seasonal Nature Development of the European Part of the USSR]. Moscow, 1974, pp. 32–33. (In Russ.)
4. Babich N.A., Komarova A.M., Sokolova E.B. Formy eli i ikh lesosemennoe znachenie [Spruce Forms and Their Seed Relevance]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2010, no. 4, pp. 22–28.
5. Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V. Khod rosta rano- i pozdnoraspuskayushchikhsya fenologicheskikh form podrosta eli [Growth Course of Early and Late-Blooming Phenological Forms of Spruce Undergrowth]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2012, no. 6, pp. 36–42.
6. Veveris A.L. Lesokhozyaystvennoe znachenie rano- i pozdnoraspuskayushchikhsya eley [Forestry Importance of Early and Late-Blooming Spruce]. *Voprosy lesnoy seleksii i semenovodstva v Latviyskoy SSR: sb. nauch. tr.* [Questions of Forest Selection and Seed Production in the Latvian SSR]. Riga, 1969, pp. 135–152. (In Russ.)
7. Veveris A.L. O metodike vydeleniya rano- i pozdnoraspuskayushchikhsya eley [On the Technique of Isolating of Early and Late-Blooming Spruce]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1969, no. 2, pp. 83–84.
8. Volovich P.I. Sootnoshenie eli po sostavu fenologicheskikh form i ispol'zovanie luchshikh klimatipov v lesokul'turnoy praktike Belorusskoy SSR [The Ratio of Spruce by the Composition of Phenological Forms and the Use of the Best Climates in the Forestry Practices of the Belorussian SSR]. *Intensifikatsiya lesnogo khozyaystva v BSSR* [Intensification of Forestry in the BSSR]. Minsk, 1978, pp. 79–88. (In Russ.)

9. Gabrilavichus R.B. Rano- i pozdnoraspuskayushchayasya el' v lesakh Litovskoy SSR [Early and Late-Blooming Spruce in the Forests of the Lithuanian SSR]. *Trudy Litovskogo NII lesnogo khozyaystva* [Transactions of Lithuanian Scientific-Research Forestry Institute]. Riga, 1977, iss. 17, pp. 118–121. (In Russ.)
10. Gryaz'kin A.V. O sootnoshenii kolichestva podrosta eli po fenologicheskim formam pod pologom i na vyrubke [On the Ratio of Spruce Undergrowth by Phenological Forms under the Canopy and in Felling]. *Lesovodstvo i ekologiya: sovremennye problemy i puti ikh resheniya* [Forestry and Ecology: Current Issues and Ways to Solve Them]. Bryansk, BSETA Publ., 1996, pp. 104–108. (In Russ.)
11. Gryaz'kin A.V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov (na primere el'nikov Severo-Zapada Rossii): monogr.* [Renewable Potential of Taiga Forests (the Case of Spruce Forests of the North-West of Russia)]. Saint Petersburg, SPbSFTA Publ., 2001. 188 p. (In Russ.)
12. Gryaz'kin A.V., Belyaeva N.V. Struktura fenologicheskikh form mladogo pokoleniya eli v usloviyakh Leningradskoy oblasti [The Structure of Phenological Forms of the Young Generation Spruce in the Leningrad Region]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 2, pp. 84–92.
13. Martynov A.N., Sennov S.N., Gryaz'kin A.V. *Estestvennoe vozobnovlenie lesa* [Natural Forest Regeneration]. Saint Petersburg, SPbSFTA Publ., 1994. 42 p. (In Russ.)
14. Mel'nik P.G., Savostin S.M. Osobennosti sezonnogo rosta ekotipov eli v usloviyakh Solnechnogorskogo opytnogo leskhoza [Peculiarities of Seasonal Growth of Spruce Ecotypes in the Solnechnogorsk Experimental Forestry Enterprise]. *Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov: nauch. tr.* [Forest Use and Reproduction of Forest Resources]. Moscow, MSFU Publ., 1995, iss. 280, pp. 62–63. (In Russ.)
15. Milyutin L.I. *Formy eli Bryanskoy oblasti, ikh lesovodstvennoe i khozyaystvennoe znachenie: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Forms of Spruce in the Bryansk Region, Their Silvicultural and Economic Significance: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 1963. 20 p.
16. Morozov G.P. Fenotipicheskaya struktura eli [Phenotypic Structure of Spruce]. *Korennye temnokhoynnye lesa yuzhnoy taygi (rezervat Kologrivskiy les)* [Native Dark Coniferous Forests of the Southern Taiga (Kologrivskiy Forest Reserve)]. Moscow, Nauka Publ., 1988, pp. 162–175. (In Russ.)
17. Pal'tsev A.M. Sezonnyy rost geograficheskikh kul'tur eli obyknovennoy v Moskovskoy oblasti [Seasonal Growth of Spruce Provenance Trial Plantations in the Moscow Region]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1980, no. 6, pp. 11–18.
18. Popov V.Ya., Tuchin P.V., Surso M.V., Vasil'ev A.A. *Rost i razvitie form eli na plantatsii semennogo proiskhozhdeniya: otchet. godich. ses. po itogam nauch.-issled. rabot za 1984 g.* [Growth and Development of Spruce Forms on a Plantation of Seed Origin]. Arkhangelsk, Arkhangelsk For. and For. Chem. Inst. Publ., 1985, pp. 31–32. (In Russ.)
19. Prokhorova E.V., Prokhorova A.A. Analiz fenotipicheskoy struktury klonovykh potomstv eli v arkhive [Analysis of Phenotypic Structure of Clone Spruce Progeny in Archive]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 1, pp. 15–19.
20. Red'ko G.I., Dursin A.D. *Geograficheskie kul'tury eli* [Spruce Provenance Trial Plantations]. Leningrad, FTA Publ., 1982. 59 p. (In Russ.)
21. Ronis E.Ya., Veveris A.L., eds. O nekotorykh formakh eli obyknovennoy v lesakh Latviyskoy SSR [On Some Forms of Spruce in the Forests of the Latvian SSR]. *Issledovaniya o prirode drevesnykh porod* [Research on the Tree Species Nature]. Riga, AS LatSSR Publ., 1964, pp. 5–20. (In Russ.)
22. Gryaz'kin A.V. *Sposob ucheta podrosta* [Undergrowth Inventory Technique]. Patent RF, no. 2084129, 1997.
23. Tarkhanov S.N. Fenologicheskie formy v geograficheskikh kul'turakh eli v Komi ASSR [Phenological Forms in the Spruce Provenance Trial Plantations in the Komi ASSR]. *Voprosy iskusstvennogo lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe* [Issues of Artificial Reforestation in the European North]. Arkhangelsk, Arkhangelsk For. Inst. Publ., 1986, pp. 73–80. (In Russ.)
24. Tarkhanov S.N. *Izmenchivost' eli v geograficheskikh kul'turakh Respubliki Komi* [Variability of Spruce in the Provenance Trial Plantations of the Republic of Komi]. Yekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 1998. 195 p. (In Russ.)

25. Tarkhanov S.N., Shchekalev R.V. Endogennaya i vnutrividovaya izmenchivost' poligennykh priznakov *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. v bassejne Severnoy Dviny pri atmosfernom zagryaznenii [Internal and Intraspecific Variability of Polygenic Attributes *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. in Pool of Northern Dvina at Atmospheric Pollution]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 5, pp. 125–131.
26. Kharitonov G.A. Razvitie rano- i pozdnoraspuskayushchikhsya ras *Picea excelsa* v svyazi s usloviyami mestoproizrastaniya [The Development of Early and Late-Blooming Races *Picea excelsa* in Connection with the Site Conditions]. *Sovetskaya botanika*, 1937, no. 4, pp. 90–95.
27. Bertin S., Palmroth S., Kim H.S., Perks M.P., Mencuccini M., Oren R. Modeling Understorey Light for Seedling Regeneration in Continuous Cover Forestry Canopies. *Forestry*, 2011, vol. 84, iss. 4, pp. 397–409.
28. Birot Y., Christophe C. Genetic Structures and Expected Genetic Gains from Multitrait Selection in Wild Populations of Douglas Fir and Sitka Spruce. 1. Genetic Variation between and within Populations. *Silvae genetica*, 1983, vol. 32, iss. 5-6, pp. 141–151.
29. Blum B.M. Variation in the Phenology of Bud Flushing in White and Red Spruce. *Can. J. Forest Res.*, 1988, vol. 18, no. 3, pp. 315–319.
30. Bouvarel P. Variabilité de l'Epicéa (*Picea excelsa*, Link.) dans le Jura français. Répartition et caractères des divers types. *Revue forestiere française*, 1954, vol. 6, no. 2, pp. 85–98.
31. Broome A., Hendry S., Peace A. Annual and Spatial Variation in Coning Shown by the Forest Condition Monitoring Programme Data for Norway Spruce, Sitka Spruce and Scots Pine in Britain. *Forestry*, 2007, vol. 80, iss. 1, pp. 17–28.
32. Holzer K., Schultze U. Die Abhängigkeit des Fiechtенаustriebes vom Fruhjahrsklima. *Osterr. Forstztg.*, 1988, vol. 99, no. 5, pp. 59–60.
33. Lindquist B. *Genetics in Swedish Forestry Practice*. Stockholm, Svenska Skogsvarsdsforeningens Forlag, 1948. 173 p.
34. Melechow H. Zur Frage der natürlichen Verjüngung der Fichte auf Brandflächen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 1934, no. 56.
35. Münch E. Die Knospenentfaltung der Fichte und die Spätfrostgefahr. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1923, no. 11, pp. 241–265.
36. Oršanić M., Drvodelić D., Anić I., Mikac S., Barčić D. Natural Regeneration of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Stands on Northern Velebit. *Periodicum Biologorum*, 2008, vol. 110, no. 2, pp. 173–179.
37. Purkyne E. Über zwei in Mitteleuropa wachsende Fichtenformen. *Forst- und Jagdwesen*, 1877, vol. 14, no. 23, pp. 69–78.
38. Quine C.P. A Preliminary Survey of Regeneration of Sitka Spruce in Wind-Formed Gaps in British Planted Forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 151, iss. 1-3, pp. 37–42.
39. Rohmeder E. Der jahreszeitliche Verlauf des Höhenwachstums früh- und spat treibender Fichten. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 1952, vol. 71, no. 11-12, pp. 369–372.
40. Rohmeder E. Ergebnisse aus züchterischen Bearbeitung der Fichte in Bayern. *Forst- und Holzwirt*, 1963, vol. 18, no. 5, pp. 93–96.
41. Rühl A. Vorläufige Mittelung über das Auftreten rot- und grünzapfiger Fichten in Estland. *Tartu Ülikooli metsaosakonna toimetused*, 1928, no. 12.
42. Schmidt E. Die Reliktföhrenwälder der Alpen. *Beitr. z. geobot. Landesaufnahme d. Schweiz*, 1936, vol. 21. 190 p.
43. Schneider B., Roeder A. Dynamics of Natural Regeneration of Norway Spruce under Shelters of Old Stands. *Allgemeine Forst-Zeitschrift*, 1993, vol. 48 Extent : v. 57–60 (2).
44. Schweiger J., Sterba H. A Model Describing Natural Regeneration Recruitment of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Austria. *Forest Ecology and Management*, 1997, vol. 97, no. 2, pp. 107–118.
45. Tjoelker M.G., Boratynski A., Wladyslaw B., eds. *Biology and Ecology of Norway Spruce*. Netherlands, Springer Netherlands, 2007, vol. 78. 474 p.

Received on September 06, 2017



УДК 630*432.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГРУНТА СФЕРИЧЕСКИМИ НОЖАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГРУНТОМЕТОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В.Я. Шапиро¹, д-р техн. наук, проф.

О.И. Григорьева¹, канд. с.-х. наук, доц.

И.В. Григорьев², д-р техн. наук, проф.

М.Ф. Григорьев², ст. преп.

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;
e-mail: tlzp@inbox.ru

²Якутская государственная сельскохозяйственная академия, ш. Сергеляхское,
3-й км, д. 3, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007; e-mail: silver73@inbox.ru

Борьба с лесными пожарами – актуальная проблема для лесного хозяйства и арендаторов лесных участков. Большинство возникающих лесных пожаров являются низовыми, которые можно ликвидировать с помощью засыпки кромки пожара грунтом. Лесные почвогрунты отличаются от почв селхозугодий и грунтов, с которыми работает строительная отрасль, имеют ярко выраженную слоистую структуру из нескольких органических и одного или нескольких минеральных слоев с характерными физико-механическими свойствами. Эту особенность почвогрунтов необходимо учитывать при проектировании приводов и рабочих органов технологического оборудования грунтометов, которые применяют при тушении пожаров в лесах. При использовании комбинированных конструкций грунтометов верхний слой подстилки снимают плоскими ножами, расположенными на роторе, после чего основную массу грунта, необходимую для эффективного метания в направлении кромки лесного пожара, разрушают и разрыхляют с помощью сферических ножей. Одна из основных проблем, возникающих при взаимодействии сферического ножа с массивом грунта, – определение скорости сближения рабочего органа с поверхностью почвы, поскольку при движении грунтомета частицы грунта, обладающего определенными физико-механическими свойствами, входят в контакт с рабочими органами и возникают силы сопротивления движению машины, что снижает ее производительность. При фрезеровании вязких и близких к пределу текучести слоев грунта для эффективной работы рабочих органов грунтомета используют режим пониженных скоростей. Нами разработана математическая модель, позволяющая на стадии теоретических исследований и проработки проектно-конструкторских решений оценивать результаты эффективной работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для

Для цитирования: Шапиро В.Я., Григорьева О.И., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф. Теоретическое исследование процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при использовании комбинированных конструкций грунтометов для тушения лесных пожаров // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

тушения лесных пожаров с учетом различных факторов и условий реализации технологических процессов.

Ключевые слова: лесные пожары, способы тушения лесных пожаров, грунтомет, механика контактного разрушения.

Введение

Лесные пожары представляют собой большую проблему во всем мире. Почти 90 % случаев лесных пожаров в России и в мире – это низовые пожары [11–14]. Один из наиболее перспективных способов их тушения – засыпка кромки пожара грунтом, которую можно выполнять вручную или с помощью специальных машин – грунтометов.

Вопросам обоснования параметров привода и технологического оборудования грунтометов посвящено большое количество работ [2, 5], однако до настоящего времени не учтен ряд моментов, связанных с отличием физико-механических свойств слоев лесного почвогрунта.

При использовании комбинированных конструкций грунтометов верхний слой подстилки снимается плоскими ножами, расположенными на роторе, после чего основную массу грунта, необходимую для эффективного метания в направлении кромки лесного пожара, разрушают и разрыхляют с помощью сферических ножей определенного радиуса [2]. Принципиальная схема грунтомета и конструктивные особенности работы всех его агрегатов подробно изложены в патенте РФ № 2496540 [6].

Основная проблема взаимодействия сферического ножа с массивом грунта – нахождение скорости сближения рабочего органа грунтомета с поверхностью слоя, обладающего определенными физико-механическими свойствами, поскольку именно от значений этого параметра зависит производительность технологического процесса в целом. В ряде случаев, при фрезеровании вязких и близких к пределу текучести слоев грунта, для эффективной работы рабочих органов грунтомета используют режим пониженных (до 0,5...0,6 м/с) скоростей [5].

Общие задачи механики контактного разрушения при воздействии инденторов различной формы на среду с определенными физико-механическими свойствами рассмотрены в работе [3].

Применение принципов механики контактного разрушения при фрезеровании древесной коры показало [1], что на размер разрушаемого слоя в зоне контакта существенно влияют угол резания (угол атаки фрезы), заданная сила фрезерования, свойства массива коры и другие факторы, в совокупности определяющие уровень его напряженно-деформированного состояния (НДС).

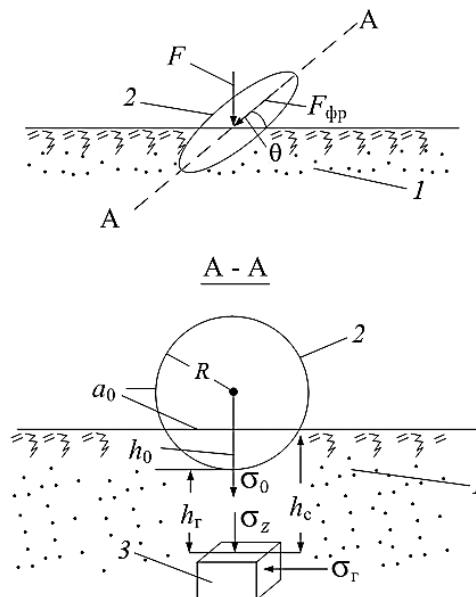
Закономерности формирования НДС массива грунта при воздействии на него в форме инденторов различных элементов трелевочных систем рассмотрены в работах [8–11], где выявлена особая роль предельных напряжений в процессе разрушения массива при реализации механизма сдвига непосредственно в зоне контакта рабочего органа с разрушаемой средой.

Цель нашего исследования – разработать математическую модель, позволяющую оценивать эффективность работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для тушения лесных пожаров с учетом различных природно-производственных факторов.

Объекты и методы исследования

Рассмотрим схему (рис. 1) разрушения слоя грунта 1 в процессе воздействия на него сферического диска (круглого индентора) 2 радиусом R с углом атаки θ на произвольный элемент массива 3.

Рис. 1. Схема взаимодействия сферического диска с массивом грунта: $F_{\text{фр}}$ – сила действия диска (контактная сила сближения); F – вертикальная проекция силы действия диска; h_0 – контактное сближение; h_r – предельное значение глубины слоя грунта; h_c – глубина срезаемого слоя грунта; σ_0 – максимальное давление в центре контакта; σ_z – вертикальная компонента тензора главных напряжений



Такое представление о работе фрезерного диска с грунтом позволяет использовать принципы механики контактного разрушения в рамках модели взаимодействия круглого индентора с упругим полупространством.

В этом случае основными характеристиками процесса погружения индентора в среду являются контактное сближение $h_0 = a_0^2/R$ и радиус контактной площадки $a_0 = \sqrt[3]{\frac{3F_{\text{фр}}(1-\nu^2)R}{4E}}$, на которой действует усредненное по площади начальное вертикальное давление $\sigma_0 = \frac{F_{\text{фр}} \cos \theta}{\pi a_0^2}$.

Здесь ν – коэффициент Пуассона; E – модуль деформации массива грунта.

Контактная сила сближения $F_{\text{фр}}$ возрастает пропорционально сближению $h_0^{3/2}$, причем коэффициент пропорциональности $k = \frac{4E\sqrt{R}}{3(1-\nu^2)}$.

В случае, если индентор имеет массу M и движется со скоростью сближения V , то по второму закону Ньютона дифференциальное уравнение движения принимает следующий вид:

$$\frac{dh}{dt} = \sqrt{V^2 - \frac{4k}{5M}h^{5/2}}. \quad (1)$$

Максимальное сближение $h_{\text{max}} = h_0$ достигается при $V = \frac{dh}{dt} = 0$.

Тогда максимальное давление в центре контакта

$$\sigma_0 = \frac{3k}{2\pi a_0 R} \left(\frac{5MV^2}{4k} \right)^{1/5}. \quad (2)$$

За пределами зоны контакта произвольный элемент массива Z испытывает соответствующее НДС с компонентами тензора главных напряжений (вертикальных σ_z и радиальных σ_r), которые можно определить в рамках модели затухания напряжений в грунте с внутренним трением [4]:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_0}{(z/a_0)^{n-\alpha}}; \quad \sigma_r = \alpha \sigma_z, \quad (3)$$

где n – коэффициент затухания, зависящий от формы фронта волны напряжений ($n = 1$ – для плоского фронта напряжений, $n = 2$ – для цилиндрического, $n = 3$ – для сферического), для сферической фрезы принимаем $n = 3$;

α – коэффициент бокового расширения, $\alpha = \frac{\nu}{1-\nu}$.

В качестве критерия разрушения принимаем условие предельного состояния, когда одна из компонент достигает предела прочности грунта на сдвиг σ_s . При разрушении слабых грунтов можно принять наименьшую из двух компонент (σ_r) и тем самым дать оценку размеров возможной зоны разрушения снизу.

Предельное значение глубины слоя грунта под действием разрушающих напряжений определяем из соотношения

$$h_r = a_0 \left(\frac{\alpha \sigma_0}{\sigma_s} \right)^{\frac{1}{3-\alpha}}. \quad (4)$$

Суммарное значение глубины слоя фрезерования $h_c = h_0 + h_r$.

При этом скорость сближения

$$V = \left(\frac{2\pi R \sigma_s}{3\alpha k (5M/4k)^{1/5}} \right)^{5/2}. \quad (5)$$

Анализ соотношений (4) и (5) показывает, что на глубину разрушаемого слоя грунта и скорость сближения фрезы с ним влияют следующие основные группы параметров:

физико-механические свойства грунта, отражающие его прочностные (σ_s), упругопластические (E) и вязкие (ν) свойства;

условия фрезерования в виде силовой составляющей ($F_{фр}$), радиуса (R) и массы (M) фрезы, а также угла атаки (θ).

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим влияние физико-механических свойств почвогрунта на скорость сближения. График зависимости V от безразмерного параметра $\eta = \sigma_s/E$, характеризующего соотношение прочностных и упругопластических свойств грунта, представлен на рис. 2, а, от коэффициента Пуассона ν , характеризующего вязкость грунта, – на рис. 2, б.

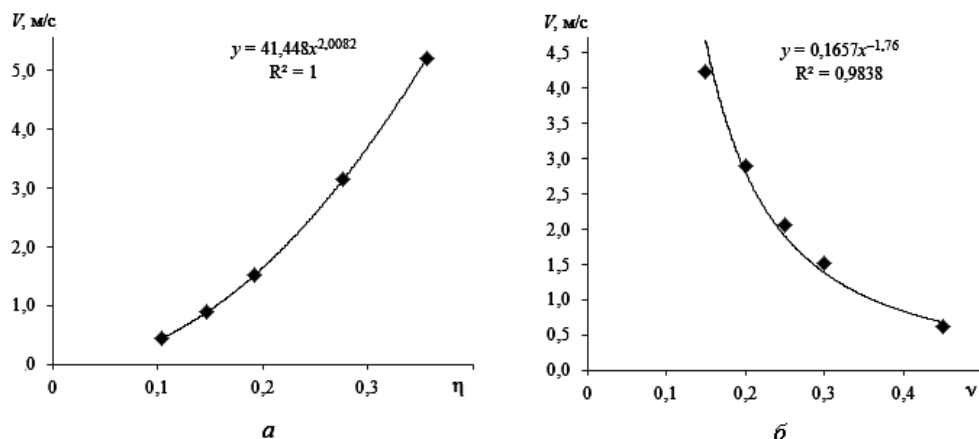


Рис. 2. Влияние безразмерного параметра η (а) и вязкости массива грунта ν (б) на скорость сближения V фрезы с грунтом

Из представленного на рис. 2, а графика следует, что чем ниже значение параметра η , тем почвогрунт (как связная сплошная среда) слабее, а из рис. 2, б – чем выше значение ν , тем сложнее работа фрезы. По мере приближения ν к значениям 0,40...0,50 такой массив в механике сплошных сред более адекватно рассматривать как несжимаемую жидкость. В сложных условиях фрезерования малосвязных, водонасыщенных и вязких грунтов, когда $\nu \geq 0,35$, скорость фрезерования не должна превышать 1,0 м/с.

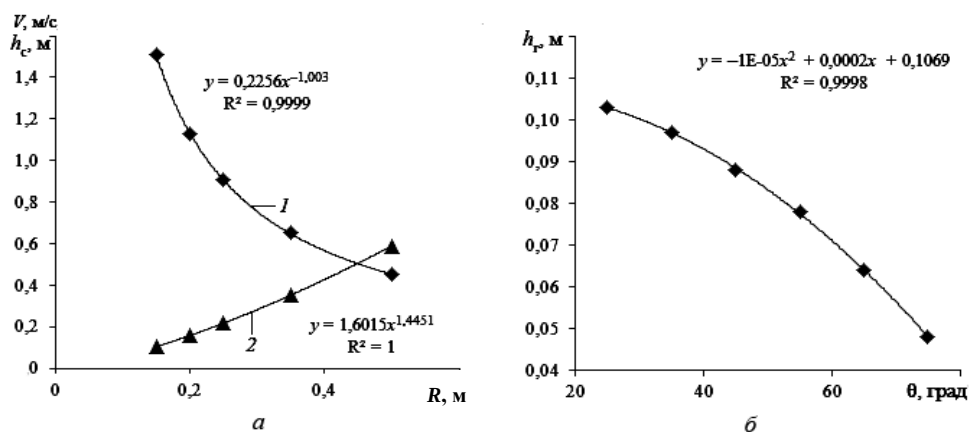


Рис. 3. Влияние радиуса фрезы R на скорость сближения V и глубину срезаемого слоя грунта h_c (а), угла атаки θ на глубину зоны разрушения h_r (б): 1 – $V = f(R)$; 2 – $h_c = f(R)$

Особое значение в условиях фрезерования слоя грунта имеют радиус фрезы R и угол атаки θ (рис. 3). Данные, приведенные на рис. 3, соответствуют следующим исходным параметрам расчета: $\eta = 0,19$; $\nu = 0,3$; $R = 0,15$ м; $F_{\text{фр}} = 0,59$ кН; $V = 1,51$ м/с.

Как видно из рис. 3, а, радиус фрезы разнонаправленно влияет на исследуемые параметры: с его ростом скорость снижается по гиперболическому закону, глубина срезаемого слоя увеличивается по параболическому закону.

Представленная на рис. 3, б зависимость h_r от угла атаки фрезы θ с высокой степенью аппроксимации функционально описывается полиномом второй степени.

Принимая во внимание, что некоторые параметры фрезерования разнонаправленно влияют на конечные результаты процесса, представляет интерес оценить совместное влияние геометрического параметра R и безразмерного параметра свойств массива η на скорость V и глубину среза h_c (рис. 4).

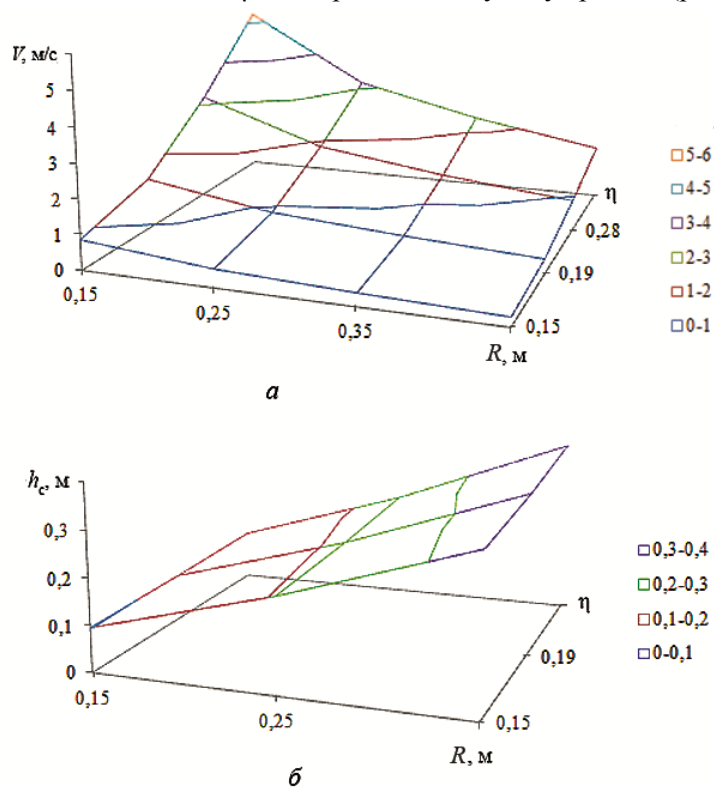


Рис. 4. Графики двумерных функций: а – $V = f(R, \eta)$; б – $h_c = f(R, \eta)$

В заданных пределах изменения аргументов R и η (рис. 4, а) интервал изменения V составил от 0,27 до 5,22 м/с (среднее значение $V = 1,57$ м/с).

Необходимо отметить, что из всей совокупности V на диапазон от 0 до 3,00 м/с приходится более 70 % значений выборки, на диапазон от 0 до 1,0 м/с – около 30 %. Эти выводы хорошо согласуются с известными опытными данными. Так, о целесообразности выдерживания скоростного параметра в интервале от 1,00 до 3,50 м/с при среднестатистических условиях работы грунтометов свидетельствуют результаты экспериментальных исследований [2]. Увеличение скорости более 3,50 м/с приводит к резкому росту потребляемой мощности агрегата.

В работе [7] для двух видов грунтов (песчаных и супесчаных) диапазон изменения скорости агрегата составлял 0,28...0,67 м/с, превышение этого показателя признано нецелесообразным.

Аналогичные расчеты и оценки были произведены при изучении совместного влияния параметров R и η на глубину слоя фрезерования h_c . Как видно на рис. 4, б, около 80 % общего объема выборки полученных данных

практически поровну приходится на два диапазона значений h_c : 0,1...0,2 м и 0,2...0,3 м (среднее значение $h_c = 0,22$ м). Это также хорошо согласуется с опытными данными работ [2, 5], авторы которых признают целесообразным не выходить за границы слоя фрезерования глубиной 0,2 м для эффективной работы грунтомета.

Заключение

Предложенная математическая модель позволяет на стадии теоретических исследований и проработки проектно-конструкторских решений оценивать эффективность работы сферических ножей при фрезеровании слоя грунта комбинированными грунтометами для тушения лесных пожаров с учетом различных факторов и условий реализации технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гумерова О.М. Моделирование процесса разрушения коры при окорке резанием // Изв. СПбЛТА. 2010. № 193. С. 211–221.
2. Гнусов М.А. Обоснование параметров комбинированных рабочих органов грунтомета для прокладки минерализованных полос в лесу: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2014. 16 с.
3. Морозов Е.М., Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения. Изд. 2-е. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 544 с.
4. Мосинец В.Н., Абрамов А.В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М.: Недра, 1982. 248 с.
5. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов. Красноярск: КрасГАУ, 2011. 376 с.
6. Пат. 2496540 Российская Федерация. Пожарный грунтомет-полосопрокладыватель / Бартенев И.М., Драпалюк М.В., Гнусов М.А. Оpubл. 27.10.2013, Бюл. № 30.
7. Чукичев А.Н. Технологические и теоретические основы фрезо-метательных машин для тушения лесных пожаров грунтом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1995. 40 с.
8. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Влияние сдвиговых деформаций на процесс циклического уплотнения почвы // Естеств. и техн. науки. 2006. № 1. С. 174–180.
9. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Особенности динамического уплотнения почвы при ее циклическом нагружении // Актуальные проблемы современной науки. 2006. № 3. С. 286–293.
10. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И. Оценка процессов деформирования почвы при циклическом уплотнении // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 44–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения // Уч. зап. ПетрГУ. 2010. № 6(111). С. 61–64.
12. Melekhov I.S. Burned Forest Area Type Classification // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands: Springer Publ., 1996. Pp. 326–330.

13. Valendik E.N. Temporal and Spatial Distribution of Forest Fires in Siberia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia / Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands: Springer Publ., 1996. Pp. 129–138.

14. Warcup J.H. Effect of Fire on the Soil Microflora and Other Non-Vascular Plants // Fire and the Australian Biota / Ed. by A.M. Gill, R.H. Groves, I.R. Noble. Canberra: Aust. Acad. Sci. Publ., 1981. Pp. 203–214.

Поступила 27.09.17

UDC 630*432.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

Theoretical Study of the Soil Mass Destruction Process by Spherical Knives when Using Combined Forest Fire-Fighting Soil-Thrower Constructions

V.Ya. Shapiro¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

O.I. Grigor'eva¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

I.V. Grigor'ev², Doctor of Engineering Sciences, Professor

M.F. Grigor'ev², Senior Lecturer

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: tlzp@inbox.ru

²Yakut State Agricultural Academy, Sergelyakhskoe sh., Tretiy kilometr, 3, Yakutsk, 677007, Republic of Sakha, Russian Federation; e-mail: silver73@inbox.ru

Forest fire fighter is an urgent problem of forestry and forest land tenants. Most of the emerging forest fires are low, which can be brought under control by filling the fire edge with soil. Forest soils differ from soils of agricultural lands and construction industry. They have a pronounced layered structure of several organic and one or several mineral layers with characteristic physical and mechanical properties. This feature of soil should be taken into account in the design of drives and working elements of technological equipment of soil-throwers that are used to extinguish forest fires. When using combined soil-thrower constructions, the top litter layer is removed with flat knives located on the rotor. Then the main mass of soil necessary for the effective throwing in the direction of the forest fire edge is destroyed and loosened by spherical knives. One of the main problems of a spherical knife and soil mass interaction is the determination of the approach velocity of the working element to the ground surface. When soil-thrower is moving, soil particles possessing certain physical and mechanical properties contact with working elements, and resistance forces to the movement of the machine arise, which reduces its productivity. The low-speed mode is used for the effective work of the soil-thrower working elements when milling the viscous and close to the yielding point of soil layers. The authors have developed a mathematical model that allows at the stage of theoretical studies and engineering solutions evaluating the results of effective operation of spherical knives when milling a soil layer with combined soil-throwers to extinguish forest fires, taking into account various factors and conditions for the implementation of technological processes.

Keywords: forest fire, forest fire-fighting method, soil-thrower, contact fracture mechanics.

For citation: Shapiro V.Ya., Grigor'eva O.I., Grigor'ev I.V., Grigor'ev M.F. Theoretical Study of the Soil Mass Destruction Process by Spherical Knives when Using Combined Forest Fire-Fighting Soil-Thrower Constructions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 61–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.61

REFERENCES

1. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Gumerova O.M. Modelirovanie protsessa razrusheniya kory pri okorke rezaniem [Modelling Process of Destruction of a Bark at Cutting]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2010, no. 193, pp. 211–221.
2. Gnusov M.A. *Obosnovanie parametrov kombinirovannykh rabochikh organov gruntometa dlya prokladki mineralizovannykh polos v lesu*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of Parameters of the Combined Working Elements of a Soil-Thrower for the Forest Fire Barriers: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Voronezh, 2014. 16 p.
3. Morozov E.M., Zernin M.V. *Kontaktnye zadachi mekhaniki razrusheniya* [Contact Problems of Fracture Mechanics]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2010. 544 p. (In Russ.)
4. Mosinets V.N., Abramov A.V. *Razrushenie treshchinovatykh i narushennykh gornykh porod* [Destruction of Fractured and Disturbed Rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 248 p. (In Russ.)
5. Orlovskiy S.N. *Opreделение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активныkh rabochikh organov mashinno-traktornykh agregatov* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Cutting Modes of Active Working Elements of Machine and Tractor Units]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk SAU Publ., 2011. 376 p. (In Russ.)
6. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Gnusov M.A. *Pozharnyy gruntomet-polosoprokladnyatel'* [Fire-Fighting Soil-Thrower-Fire-Break Maker]. Patent RF, no. 2496540, 2013.
7. Chukichev A.N. *Tekhnologicheskie i teoreticheskie osnovy frezo-metatel'nykh mashin dlya tusheniya lesnykh pozharov gruntom*: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Technological and Theoretical Foundations of Throwers for Forest Fires Extinction with Soil: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 1995. 40 p.
8. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Vliyanie sdvigovykh deformatsiy na protsess tsiklicheskogo uplotneniya pochvy [Influence of Shear Deformations on the Process of Cyclic Soil Compaction]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2006, no. 1, pp. 174–180.
9. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Osobennosti dinamicheskogo uplotneniya pochvy pri ee tsiklicheskom nagruzhении [Features of the Soil Dynamic Compaction during Its Cyclic Loading]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki*, 2006, no. 3, pp. 301–309.
10. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Zhukova A.I. Otsenka protsessov deformirovaniya pochvy pri tsiklicheskom uplotnenii [Assessment of Soil Deformation Processes under Cyclic Compaction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 4, pp. 44–51.
11. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Lepilin D.V., Zhukova A.I. Modelirovanie uplotneniya pochvogrunta v bokovykh polosakh trelevochnogo voloka s uchetom izmenchivosti trassy dvizheniya [Modeling of Soil Consolidation Consistent with Trail Tractors Route Change]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Ser.: Natural and Engineering Sciences], 2010, no. 6(111), pp. 61–64.
12. Melekhov I.S. Burned Forest Area Type Classification. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands, Springer Publ., 1996, pp. 326–330.
13. Valendik E.N. Temporal and Spatial Distribution of Forest Fires in Siberia. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Ed. by J.G. Goldammer, V. Furyaev. Dordrecht, Netherlands, Springer Publ., 1996, pp. 129–138.
14. Warcup J.H. Effect of Fire on the Soil Microflora and Other Non-Vascular Plants. *Fire and the Australian Biota*. Ed. by A.M. Gill, R.H. Groves, I.R. Noble. Canberra, Aust. Acad. Sci. Publ., 1981, pp. 203–214.

Received on September 27, 2017

УДК 630*232.337

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70

ПОТЕНЦИАЛ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.

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

Представлены аналитические рассуждения о существующих российских тенденциях в области возникновения, существования и перспектив ведения лесного хозяйства на мелкоконтурных лесных участках с учетом возобновления лесных ресурсов и поддержания экологического равновесия на основе индуктивного метода построения логики развития доступных технологий и средств их малой ресурсосберегающей механизации. Индуктивными выводами в работе являются проведение некоторой воображаемой интерполяции в области организации ресурсосберегающей экологически чистой технологии по заданному набору условных экспериментальных точек и составление словесного описания изобретения. Реальная база исследования – современное состояние арендных лесозаготовительных предприятий в условиях действующего в России Лесного кодекса, а также перспективные планы по освоению территорий Дальнего Востока путем предоставления гражданам страны мелкоконтурных земельных участков. Проиллюстрировано воплощение индуктивного метода исследований от разрозненной концепции, как системы дискретных взглядов, до сформировавшегося осмысленного подхода к созданию машинно-технологического комплекса для решения задач повышения ресурсосберегающей и экологической эффективности ведения лесного хозяйства в условиях мелкоконтурных участков. В качестве исходных данных используются собственные результаты теоретических и экспериментальных работ, а также некоторые достижения аспирантов. Рассмотрен значительный временной период практической апробации авторских идей (с 1990-х по 2000-е гг.). Материал статьи включает описания реализованных вариантов устройств и конструкций малогабаритных лесохозяйственных агрегатов, дает представление о потенциальных возможностях средств малой механизации. Приведены соответствующие иллюстрационные материалы и некоторые количественные оценки итогов проделанной работы.

Ключевые слова: мелкоконтурный участок, ресурсосбережение, лесовозобновление, уход, посев, минерализация.

Введение

В глобальном аспекте леса составляют основу жизни на Земле [7]. В специальной литературе, особенно в каталогах лесо- и сельскохозяйственных машин, при рассмотрении процессов лесовозобновления и ухода за лесом часто касаются проблематики ведения именно малых лесных хозяйств [10–12].

Современное состояние лесохозяйственных процессов в арендной сфере лесозаготовки и перспективный закон (принят в ноябре 2015 г.) о безвозмездном предоставлении гражданам России мелкоконтурных земельных участков, расположенных в Дальневосточном федеральном округе, требуют

Для цитирования: Мясищев Д.Г. Потенциал малой механизации в лесохозяйственных технологических процессах // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 70–79. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70

инновационных решений, рациональных подходов к построению эффективной лесохозяйственной инфраструктуры для всех производственно-экономических направлений развития лесного комплекса России.

Прежде всего этот вывод основан на явно выраженной специфической структуре и состоянии предлагаемых для освоения территорий: отсутствие качественной дорожной сети; пересеченный рельеф местности; значительные лесопокрытые территории; четко оговоренные условия ведения хозяйства в сфере экологии и ресурсосбережения.

Как реальный аналог для дальнейших рассуждений можно принять современные арендные отношения в российском лесном комплексе, которые юридически определяются соответствующим договором. При этом важнейшим пунктом данного документа является условие лесовосстановительных мероприятий, которые арендатор принимает на себя. Часто в случае малых предприятий это относится к лесовосстановительным и лесозащитным мероприятиям на мелкоконтурных (площадь до 0,5...1,5 га) участках. Данная ситуация применима к лесовозобновлению как на вырубках, гарях, лесных полянах, в лесопарковых угодьях, так и на территориях, где использование крупногабаритной техники невозможно по условиям безопасности и ввиду экологической несовместимости со средой применения (например, террасированные, приречные и приовражные площади). В настоящее время отсутствует специализированная малогабаритная техника, способная решать задачи лесовозобновления в таких специфических условиях. Кроме того, необходимо отметить, что этих случаях лесовозобновление это только часть комплексной проблемы, другая и не менее важная ее составляющая – уход за молодыми лесонасаждениями.

Цель нашей работы – на основе обобщения оригинальных авторских материалов по практике применения технологий и машин малой механизации при проведении лесовозобновления на мелкоконтурных участках лесозаготовок с сохранением лесной среды выбрать такую модель взаимодействия компонентов региональной системы «малое арендное лесное предприятие – орган власти», при которой исходные ситуационные данные наилучшим образом обеспечили бы экологическое ресурсосбережение в лесном хозяйстве.

Объекты и методы исследования

В основу индуктивных предпосылок исследования положена разработанная автором дискретная концепция лесохозяйственной системы машин на основе мобильных средств малой механизации [2] как технической базы, которая минимизирует отрицательное экологическое воздействие на лесную среду. В фундамент концепции положен блочно-модульный принцип проектирования и изготовления технологических, в том числе и лесохозяйственных, машин и орудий, т. е. использование универсального энергоблока – специализированного для данной отрасли базового шасси и шлейфа сменного рабочего оборудования.

Нами был применен метод экспертных оценок – процедура «Дельфи» на базе контингента ведущих специалистов лесного хозяйства Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова (САФУ), Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ) и практиков Архангельского управления лесами. В итоге были предложены

возможные концепции построения ресурсосберегающей и экологически чистой лесохозяйственной системы агрегатов на шасси специализированного мотоблока. Структурное содержание системы в единстве с технологическим использованием ее элементов представлено на рис. 1.

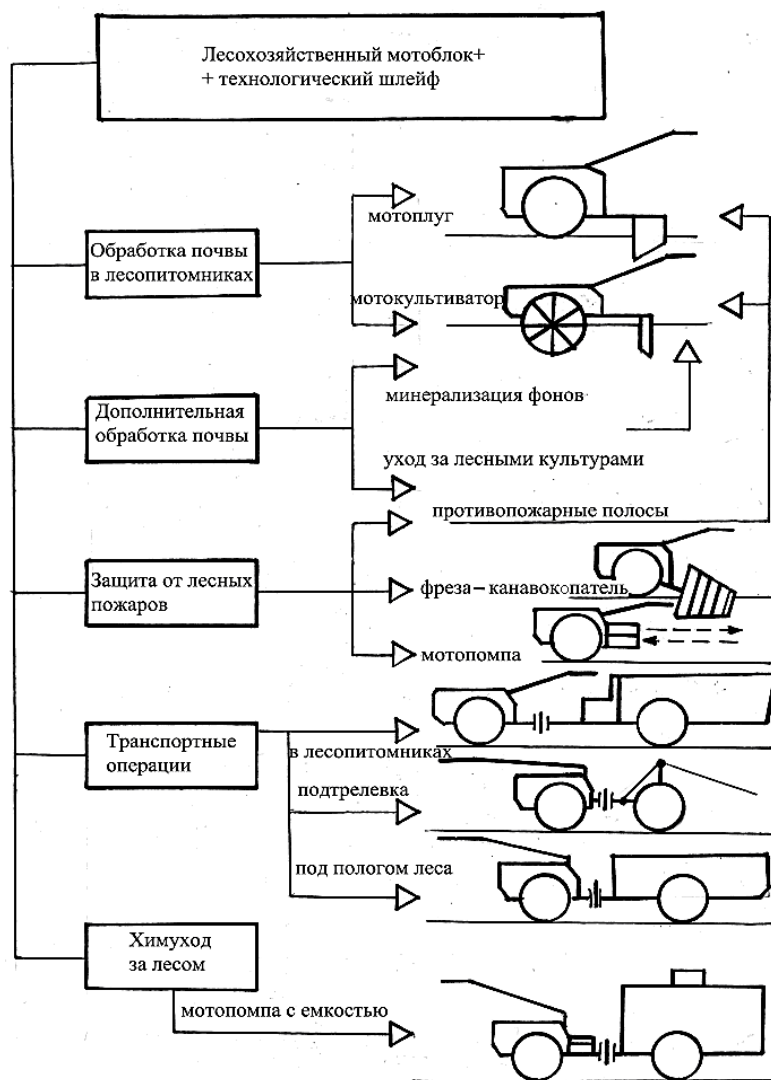


Рис. 1. Дискретная концепция системы малой механизации

Данное направление не утратило актуальности и сейчас. С. Кондрашов [1] четко и однозначно указывает на тот факт, что действующий Лесной кодекс не эффективен и сдерживает развитие малого и среднего бизнеса ввиду действующих в настоящее время пояснений Минприроды России от 04.02.2016 г. № 094-16-29/2164 «О расчете коэффициента для определения расходов на обеспечение проведения мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов». Отсутствие достаточного финансирования для проведения текущего лесоустройства, дороговизна современной зарубежной лесохозяйственной техники и посадочного материала практически ставят малых и средних предпринимателей перед необходимостью покупать лесные участки под сплошные виды рубок по высоким ценам либо отказываться от своего

бизнеса. При этом интересы крупных лесопромышленных холдингов защищены законом. Можно только предполагать, как бы выглядела ситуация при условии обеспеченности среднего и малого лесного бизнеса отечественными малогабаритными дешевыми лесохозяйственными агрегатами и технологиями их применения. Несомненно, что и для участковых лесничеств наличие дешевых, малогабаритных, маневренных и экологически чистых средств малой механизации лесохозяйственных технологических процессов необходимо, но требует соответствующих финансовых вложений.

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с Лесным кодексом лесопользователю, имеющему специальные знания и получившему участок для заготовки древесины, вменяется в обязанность выполнение лесосечных и лесовосстановительных работ. Но он, как правило, обладает ограниченными средствами для приобретения ресурсов (лесохозяйственных машин, рабочей силы и т.д.). Сложившаяся в России в XX в. практика проведения лесозаготовок и лесовосстановления с использованием энерго- и ресурсозатратных технологий продолжается, часто нанося урон естественным воспроизводственным способностям леса.

В этом отношении альтернативой могут быть результаты исследований, проведенных в 2013–2014 гг. на дренированных вырубках мелкоконтурных участков Архангельского лесничества [8], где были осуществлены опытные посевы ели обыкновенной с использованием экспериментального оборудования на базе мотоблока с устройством предпосевной магнитной обработки посевного материала (рис. 2).



Рис. 2. Ресурсосберегающий малогабаритный посевной агрегат на базе мотоблока

Посевной агрегат состоит из рамы навески, дискового сошника, высевашающего аппарата, магнитного семяпровода в виде брахистохрона. Семена после облучения магнитным полем попадают в почву. Экспериментально определен необходимый уровень магнитной индукции (24 мТл), при которой обеспечивается максимальный положительный эффект (при прочих равных условиях) для оцениваемых параметров семян.

До настоящего времени основным способом содействия естественному возобновлению являлась минерализация почвы, т. е. удаление напочвенного покрова, препятствующего прорастанию семян и росту самосева. Чаще всего при этом пользовались различного вида покровосдирателями, рыхлителями, культиваторами и фрезами, которые монтировались на массивных металлоемких тракторных шасси и требовали значительных вложений на приобретение, эксплуатацию и т. д. Кроме того, их маневренные качества весьма невысоки, а прокладка протяженных минерализованных полос при одновременном применении технологии корчевки пней имеет известные всем печальные

экологические последствия – эрозию лесных почв, подпневные ямы-котлованы и т. п. В условиях мелкоконтурных лесных участков они как «слоны в посудной лавке». Однако и штыковая лопата хоть и проста в обслуживании, экологически безвредна, но весьма трудозатратна и требует привлечения большого количества людских ресурсов.

Нами предложен апробированный экспериментальный мотоагрегат (рис. 3), состоящий из базового мотоблока оригинальной конструкции и теоретически обоснованного [4], а затем и созданного технологического оборудования, имеющего внешнее сходство с классическим сельскохозяйственным мотоплугом.

Рис. 3. Ресурсосберегающий агрегат для минерализации почвы в целях содействия естественному лесовозобновлению



Исследовательские испытания [5], проведенные в июле 2014 г. на участках дендрария САФУ, позволили выявить технологические условия, которые необходимо обеспечить для эффективного применения данной машины в целях содействия естественному лесовозобновлению, т. е. для максимизации производительности при минимизации энергоемкости. Установлена возможная норма выработки этого агрегата в следующих условиях: объем 360 м²/ч, или 2880 м² (0,3 га) минерализованных площадок за 8-часовую смену. Производительность агрегата для минерализации почвы в 17 раз выше по сравнению с ручными работами. При его использовании достигается практически 100 %-я степень механической минерализации полосы, что выше, чем у существующих отечественных тракторных агрегатов (70 %) и при использовании конной тяги (65 %).

Посевы культур, кроме территорий вырубок и площадок под пологом древостоя, требуется осуществлять и на высоких скоростях движения посевного агрегата (например, вдоль заброшенных волоков, лесовозных усов и магистралей, по их колеям, вдоль кромок котлованов и карьеров на лесных территориях), где тихоходный агрегат на базе минитрактора будет малопродуктивным, несмотря на ресурсосберегающий эффект. В полной мере это относится и к сфере ландшафтного строительства на лесопарковых территориях.

Для решения данных задач был предложен действующий макетный образец лесопосадочного агрегата на шасси мотоцикла [9] (рис. 4).

Экспериментальный посев был проведен 17 июня 2012 г. на трех участках, выделенных Архангельским лесхозом в Приморском лесничестве. Все участки имеют дренированные супесчаные почвы. Участок № 1 располагается вблизи песчаного карьера, выведенного из эксплуатации в 2004 г. При расчистке территории для подъезда транспорта была произведена сплошная рубка леса на участке размером 400×300 м. Участок № 2 – выведенный

Рис. 4. Быстроходный посевной агрегат на шасси мотоцикла



из эксплуатации в 2010 г. «зимник» шириной 5 м и длиной 250 м. Участок № 3 использовался в качестве верхнего склада (размер 150×250 м), выведеного из эксплуатации в 2003 г.

Низкий расход топлива, высокая эффективность, возможность эксплуатации шасси отдельно от навесного оборудования, наличие транспортного положения и возможность быстро передвигаться по дорогам общего пользования выгодно отличают мотошасси от других средств малой механизации. В результате опытного посева ели обыкновенной грунтовая всхожесть составила 12 %. Однако мотошасси требует серьезной модификации в плане снижения рабочей скорости движения при технологическом процессе.

Проведенные экспериментальные испытания показали, что применение рассмотренных лесовосстановительных технологий требует подготовки участка работ (создание технологических коридоров или площадок, где будет осуществлен высев семян). При этом исключается корчевка пней, а основная ручная технологическая операция – уборка сучьев и порубочных остатков на траекториях движения агрегатов.

Основные положительные эффекты, достигнутые при использовании рассмотренных операций по лесовозобновлению:

исключается технологическая операция корчевки пней;

повышается всхожесть семян в связи с ослаблением отрицательного влияния травянистой растительности;

снижается вероятность болезней и повреждений от древесных вредителей;

более равномерно сохраняется влага в поверхностном слое полосы минерализации, что важно для районов северотаежной и среднетаежной подзон тайги в засушливые летние периоды;

ускоряется рост всходов за счет перемешивания органических и минеральных горизонтов на суглинистых и торфянистых почвах в условиях микроповышений (гребней) на полосах,

Если сегодня не использовать ресурсосберегающие технологии ухода за потенциальными культурами на мелкоконтурных лесных участках, то в ближайшем будущем целлюлозно-бумажные комбинаты начнут испытывать острый дефицит сырья. Частично проблема может быть решена путем создания плантаций быстрорастущих пород на близлежащих к лесопереработке территориях. Работы по подбору ассортимента пород для плантационного выращивания на Европейском Севере были проведены лабораторией интродукции древесных растений СевНИИЛХа. В результате одной из наиболее перспективных пород для ускоренного выращивания древесины в странах с умеренным климатом была признана сосна скрученная широколиственная. Экспериментальная рубка ухода [6] с использованием малогабаритного лесотранспортного агрегата осуществлена на участке хвойных интродуцентов ПХИ 83 (делянка площадью 0,45 га) дендрологического сада СевНИИЛХа.

Заслуживает внимания практический опыт применения упомянутого выше малогабаритного лесотранспортного агрегата при рубках ухода в условиях ландшафтного строительства на участках лесопарковой зоны пос. Талаги Архангельской области (рис. 5) [3].

Рис. 5. Малая механизация при рубках ухода в лесопарковой зоне



Опытный процесс рубки ухода в практических условиях был проведен по следующей технологической схеме:

- подготовка площадки верхнего склада;
- срезание в лесном массиве намеченных для ухода деревьев и кустарников мотокусторежом;
- обрезка крупных сучьев поваленных деревьев и при необходимости раскряжевка их стволов бензопилой по габариту кузова прицепа;
- подготовка магистрального волока;
- окучивание срезанной древесины по пути движения лесотранспортного агрегата;
- погрузка вручную биомассы на прицеп лесотранспортного агрегата при заданном маршруте движения машины;
- транспортировка древесины на верхний склад участка;
- разгрузка вручную транспортного средства и окучивание древесного сырья.

В качестве положительных моментов при эксплуатации лесотранспортного агрегата в лесоводственном аспекте можно выделить ускоренное созревание промышленно значимых (хвойных) древостоев; в экологическом – улучшение рекреационных свойств лесов, снижение пожароопасности участков после рубок ухода, ликвидация очагов для развития древесных болезней и активизации вредных насекомых в оставленном древостое; в промышленном – возможность переработки на верхнем складе участка вывезенной биомассы непосредственно в строительные материалы и древесный уголь (например, по технологии Красноярского государственного технического университета).

Заключение

На основании представленного выше обзора исходных данных для индуктивного подхода к экологическому ресурсосбережению при мелкоконтурном ведении лесного хозяйства и с учетом выявленных реальных заинтересованностей хозяйствующих субъектов и действующего лесного законодательства Российской Федерации можно сформулировать следующие рекомендации по эффективному ведению лесовозобновительных процессов на мелкоконтурных участках.

1. Применение ресурсосберегающих экологически чистых технологий по лесовозобновлению и уходу за лесными культурами с использованием малогабаритной техники в условиях малых и средних лесных предприятий при сохранении контроля со стороны специализированных структур лесной охраны.

2. Использование арендаторами лесных участков – предприятиями среднего и малого бизнеса всего потенциального спектра технологических процессов с привлечением малой механизации и мототехники в качестве шасси лесохозяйственных агрегатов.

3. Изыскание региональными органами власти инвесторов для финансирования разработки технических заданий и изготовления лесохозяйственных агрегатов на шасси мотоблоков и мототехники для лесных предприятий среднего и малого бизнеса с целевой ориентацией на ресурсосберегающие технологии лесовозобновления и ухода за молодняками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашов С. Коэффициент преткновения // Лесн. регион. 2016. 20 июня. (№ 11 (191)). С. 1–2.
2. Мясцев Д.Г. Механизация лесохозяйственных работ агрегатами на основе специализированного мотоблока: моногр. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 206 с. Деп. ВИНТИ 15.04.05, № 518–В2005.
3. Мясцев Д.Г., Маковеев Д.Е. Использование средств малой механизации для вывозки отходов рубок ухода в парковых зонах // Лесн. журн. 2014. № 1. С. 81–87. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Мясцев Д.Г., Вилчес Руис Эрик Доминго. Оптимизация конструктивных и технологических параметров покровосдирателя-рыхлителя для лесовозобновления на базе мотоблока // Науч. обозрение. 2015. № 9. С. 36–41.
5. Мясцев Д. Г., Вилчес Руис Эрик Доминго. Испытания мотоагрегата для минерализации почвы // Аграр. наука. 2016. № 1. С. 29–30.
6. Прокопьев А.Ф., Мясцев Д.Г. Технологический комплекс для рубок ухода в молодняках на базе энергетических установок мотоинструмента // Лесн. хоз-во. 2009. № 3. С. 41–43.
7. Птичников А.В., Е.В. Бубко, А.Т. Загидуллина и др. Добровольная лесная сертификация / под общ. ред. А.В. Птичникова. М.: Всемир. фонд дикой природы (WWF России), 2011. 175 с.
8. Хинчук Д.Г. Обоснование структуры и параметров лесной сеялки на базе мотоблока: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2014. 156 с.
9. Якимов В.А., Мясцев Д.Г. Экспериментальное исследование лесного посевного агрегата на базе мотоблока // Актуальные направления научных исследований XXI в. Теория и практика. Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 95–98.
10. Mado T. Bringing Mechanized Agriculture Services to Smallholder Farmers. Proc. Borlaug Symposium, Addis Ababa, July 2010.
11. Kienzle J., Ashburner J.E., Sims B.G., eds. Mechanization for Rural Development: a Review of Patterns and Progress from Around the World. Integrated Crop Management. Vol. 20-2013. Rome: Plant Production and Protection Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
12. Sims B.G., Kienzle J., Cuevas R., Wall G., eds. Addressing the Challenges Facing Agricultural Mechanization Input Supply and Farm Product Processing. Proc. FAO Workshop, CIGR World Congress on Agricultural Engineering. Bonn, Germany, 5–6 September 2006. Agricultural and Food Engineering Technical Report 5. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.

Поступила 27.09.17

UDC 630*232.337

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70

Potential of Small-Scale Mechanization in Forestry Technological Processes**D.G. Myasishchev**, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

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

Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: d.myasishchev@narfu.ru

The paper presents analytical reasoning on the existing Russian trends in the occurrence and prospects of forest management in small-scale plots of renewal of forest resources and maintenance of ecological balance, based on the inductive method of logistics construction of the available technologies development and low resource-saving mechanization. Inductive conclusions in the work are the implementation of some imaginary interpolation in the organization of resource-saving environmentally friendly technology based on a set of conditional experimental points and the composition of a verbal description of the invention. The real basis of the research is the current state of leased forestry enterprises in the context of the Forest Code in Russia, as well as long-term plans for the development of the Far East territories by providing small-scale plots to citizens of the country. The author illustrates the implementation of an inductive research method from a disjointed concept, as a system of discrete views, to a developed meaningful approach to the creation of a computer-technological complex for solving problems of increasing the resource-saving and ecological efficiency of forest management in small-scale plots. We use our results of theoretical and experimental work as initial data, as well as some achievements of postgraduate students. Significant period for the practical testing of author's ideas (from the 1990s to the 2000s) is considered. The article presents descriptions of the implemented options for devices and structures of small-scale forestry units; gives an idea of the potential performance capabilities of small-scale mechanization. Appropriate illustrative materials and some quantitative estimates of the results of the work done are provided.

Keywords: small-scale plot, resource conservation, reforestation, tending, seeding, mineralization.

REFERENCES

1. Kondrashov S. Koeffitsient pretknoveniia [Coefficient of Stumbling]. *Lesnoy region*, 2016, no. 11(191), pp. 1–2.
2. Myasishchev D.G. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh rabot agregatami na osnove spetsializirovannogo motobloka: monogr.* [Mechanization of Forestry Operations by Units on the Basis of a Specialized Rotary Cultivator]. Saint Petersburg, SPbSFTA Publ., 2005. 206 p. (In Russ.)
3. Myasishchev D.G., Makoveev D.E. Ispol'zovanie sredstv maloy mekhanizatsii dlya vyvozki otkhodov rubok ukhoda v parkovykh zonakh [Use of Small-Scale Mechanization to Remove Thinning Waste in Parks]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 1, pp. 81–87.
4. Myasishchev D.G., Vilches Ruis Aeric Domingo. Optimizatsiya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov pokrovosdiratelya-rykhlyatelya dlya lesovozobnovleniya na baze motobloka [Optimization of Constructive and Technological Parameters of the Scarifier-Ripper for Reforestation on the Basis of a Rotavator]. *Nauchnoe obozrenie*, 2015, no. 9, pp. 36–41.

For citation: D.G. Myasishchev. Potential of Small-Scale Mechanization in Forestry Technological Processes. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 70–79. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.70

5. Myasishchev D.G., Vilches Ruis Aeric Domingo. Ispytaniya motoagregata dlya mineralizatsii pochvy [Test Motoaggregate for Soil Mineralization]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], 2016, no. 1, pp. 29–30.
6. Prokop'ev A.F., Myasishchev D.G. Tekhnologicheskii kompleks dlya rubok ukhoda v molodnyakakh na baze energeticheskikh ustanovok motoinstrumenta [Technological Complex for Thinning in Young Forests on the Basis of Power Plants of Power Tools]. *Lesnoe khozyastvo*, 2009, no. 3, pp. 41–43.
7. Ptichnikov A.V., Bubko E.V., Zagidullina A.T., eds. *Dobrovol'naya lesnaya sertifikatsiya* [Voluntary Forest Certification]. Moscow, WWF of Russia Publ., 2011. 175 p. (In Russ.)
8. Khinchuk D.G. *Obosnovanie struktury i parametrov lesnoy seyalki na baze motobloka*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the Structure and Parameters of a Rotavator-Based Tree-Seed Drill: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2014. 156 p.
9. Yakimov V.A., Myasishchev D.G. Eksperimental'noe issledovanie lesnogo posevnogo agregata na baze motoshassi [Experimental Research of a Forest Seeding Unit on the Basis of a Motor Chassis]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v. Teoriya i praktika* [Up-To-Date Sectors of Scientific Research in the 21st Century. Theory and Practice]. Voronezh, VSUFT Publ., 2014, pp. 95–98. (In Russ.)
10. Mado T. Bringing Mechanized Agriculture Services to Smallholder Farmers. *Proc. Borlaug Symposium, Addis Ababa, July 2010*.
11. Kienzle J., Ashburner J.E., Sims B.G., eds. *Mechanization for Rural Development: a Review of Patterns and Progress from Around the World. Integrated Crop Management. Vol. 20-2013*. Rome, Plant Production and Protection Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
12. Sims B.G., Kienzle J., Cuevas R., Wall G., eds. Addressing the Challenges Facing Agricultural Mechanization Input Supply and Farm Product Processing. *Proc. FAO Workshop, CIGR World Congress on Agricultural Engineering. Bonn, Germany, 5–6 September 2006. Agricultural and Food Engineering Technical Report 5*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.

Received on September 27, 2017



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 624.078.4; 624.011.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЗУБЧАТЫМИ ПЛАСТИНАМИ

А.В. Карельский, канд. техн. наук

Т.П. Журавлева, асп.

В.В. Филиппов, студент

Б.В. Лабудин, д-р техн. наук, проф.

В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 22, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: KAW_79@mail.ru

В результате нарушения режимов эксплуатации, технологии изготовления, силовых воздействий в клееных деревянных конструкциях зданий и сооружений появляются дефекты и повреждения, снижающие их прочностные и деформационные характеристики. Наиболее распространенным дефектом является расслоение клеевых швов с образованием продольных трещин, приводящих к предаварийному состоянию конструкций, что требует дополнительного их усиления. Существующие методы и способы усиления технологически сложны и предполагают демонтаж дефектных элементов или конструкций с заменой их на новые, что приводит к дополнительным затратам на ремонт и восстановление. Поэтому применение современных технологических решений по усилению цельных и клееных деревянных конструкций – актуальная проблема строительной отрасли. Выполнение работ по усилению включает три этапа: обследование, проектирование и монтажные работы. Обследование конструкции связано с определением всех требуемых параметров для проектирования усиления. Для оценки влияния трещин на несущую способность конструкции предложено использовать шарнирно-стержневую модель с представлением клееной древесины как анизотропного упругого тела с трещиной, возникшей путем удаления из дискретной системы связей сдвига. На основе расчетов выполняется подбор размеров, шага, количества и типа металлических зубчатых пластин с учетом податливости соединения. Рассматриваются варианты усиления клееных деревянных конструкций, способы запрессовки металлических пластин на проектной отметке, технология выполнения работ. Предложенные технические решения по усилению металлическими зубчатыми пластинами клееных деревянных конструкций с продольными трещинами позволяют уменьшить расход конструкционных пиломатериалов.

Ключевые слова: древесина, клееные деревянные конструкции, металлические зубчатые пластины, шарнирно-стержневая модель, непрочные, трещины, усиление.

Для цитирования: Карельский А.В., Журавлева Т.П., Филиппов В.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Технология усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 80–88. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

Введение

В отечественной практике при строительстве общественных, сельскохозяйственных, промышленных зданий и сооружений, в транспортном строительстве широкое применение в 70–80-е гг. XX в. получили деревянные клееные балки прямоугольного сечения пролетом до 24 м. После длительной эксплуатации в неблагоприятных температурно-влажностных условиях в них появляются продольные трещины, биопоражения и другие дефекты, снижающие прочностные и жесткостные характеристики конструкций. Существенный вклад в разработку методик обследования клееных деревянных конструкций (КДК) в различных зданиях и сооружениях внесли В.Ф. Иванов, Е.Н. Квасников, С.А. Душечкин, Е.Н. Серов [14], В.В. Стоянов [16], С.Б. Турковский, В.Ю. Щуко, В.М. Хрулев, Р.Б. Орлович [12], А.Я. Найчук [10] и др.

Наиболее распространенными повреждениями являются трещины в клеевых швах. У высоких балок с отношением высота/ширина > 6 трещины могут быть сквозными, что приводит к аварийному состоянию конструкции и снижает живучесть сооружения [5]. Нами предложена методика восстановления несущей способности деревоклееных балок путем усиления металлическими зубчатыми пластинами (МЗП) [2].

Большой вклад в развитие деревянных конструкций с узлами на МЗП внесен В.Г. Ленновым, А.К. Наумовым, В.Г. Мироновым, В.А. Цапаевым, В.Г. Котловым и др. В исследованиях [9, 11, 18] разработана усовершенствованная методика расчета соединений на МЗП, в том числе с учетом длительной прочности и деформативности, в [6] введено понятие коэффициента единичной податливости и предложена формула для определения приведенного модуля упругости соединения. Авторами [7] изучено смятие древесины под зубьями МЗП вдоль и поперек волокон, установлены пределы прочности и коэффициент постели для соединений деревянных элементов на МЗП. В работе [1] рассмотрены вопросы влияния влажности на длительную прочность и ползучесть составных деревянных конструкций на МЗП, в [8] детально рассмотрено напряженно-деформированное состояние древесины в зоне контакта с нагелем и сделан вывод, что изменение свойств древесины в зоне контакта следует учитывать при проектировании стыков деревянных конструкций на МЗП. Зарубежный опыт представлен в работах [19–29]. Классификация дефектов клееных деревянных конструкций и их влияние на напряженно-деформированное состояние КДК рассмотрены в [3, 4], повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов с помощью углепластика, стекловолокна и других материалов – в [13, 16, 17]. Однако вопросы усиления несущих клееных деревянных и составных конструкций с помощью МЗП не рассматривались.

Результаты исследования и их обсуждение

Усиление с использованием МЗП клееных деревянных элементов и балок с продольными трещинами предложено проводить в следующей последовательности:

обследование технического состояния КДК с составлением ведомостей дефектов и повреждений, документированием, разработкой детальных схем расположения дефектов (трещин и расслоений); выполнение работ по обследованию

дованию зданий и сооружений в соответствии с требованиями нормативной документации [15];

определение топографии расположения трещин на схеме балок;

аппроксимация массивной деревоклееной балки шарнирно-стержневой моделью, в которой удалены связи сдвига на участках с трещинами, и учтены анизотропные особенности материала [2] (рис. 1);

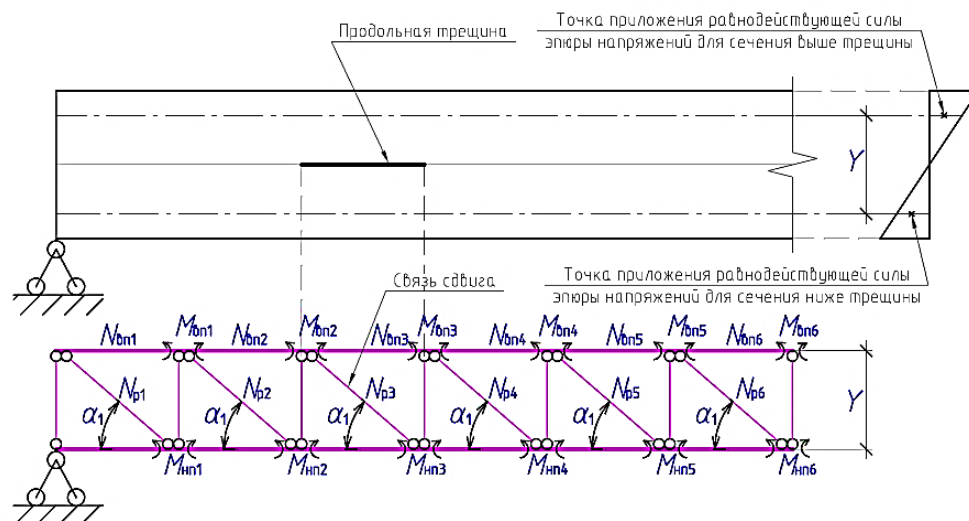


Рис. 1. Шарнирно-стержневая модель деревоклееной балки с трещиной: M_{vni} – изгибающий момент в i -м элементе верхнего пояса; M_{hni} – изгибающий момент в i -м элементе нижнего пояса; N_{pi} – продольная сила в i -м элементе раскоса; N_{vpi} – продольная сила в i -м элементе верхнего пояса; α_1 – угол наклона раскоса к горизонтальной плоскости; Y – расстояние между точками приложения равнодействующих сил эпюр напряжений для сечений выше и ниже трещины

расчет конструкции с оценкой влияния трещины на напряженно-деформированное состояние клееной деревянной балки с дефектом, на основании которого принимается конструктивно-технологическое решение об усилении КДК;

восстановление в расчетной схеме удаленной связи сдвига и определение усилия сдвига (T) в смежных с трещиной участках шарнирно-стержневой модели:

$$T = N_{pi} \cos \alpha_i + \frac{M_{vpi} - M_{vpi-1} + M_{hpi} - M_{hpi-1}}{Y}; \quad (1)$$

определение площади МЗП ($F_{расч}$), необходимой для усиления каждого участка:

$$F_{расч} = T / R_{пл}, \quad (2)$$

где $R_{пл}$ – расчетное сопротивление соединения МЗП–древесина;

подбор количества и шага расположения пластин в зависимости от их типоразмеров;

проверка условия

$$Q / (th) \leq R_s, \quad (3)$$

где Q – поперечная сила;

t – ширина сечения элемента;

h – высота сечения элемента;

R_s – расчетное сопротивление МЗП срезу.

принятие жесткостных и геометрических характеристик элементов связей сдвига, соответствующих соединению на МЗП (модуля упругости соединения на МЗП с учетом податливости соединения, ширины балки и полученной высоты сечения пластины) на участке с трещиной;

деформационный расчет модели в программном комплексе на основе метода конечных элементов и определение вертикальных перемещений узлов стержневой модели балки (при прогибе, превышающем предельные значения, рекомендуется выбирать тип МЗП с меньшей податливостью соединения);

выполнение проекта усиления балки с указанием мест установки, размеров, шага и типа МЗП (их устанавливают в зоны с трещиной и смежные с трещиной для предотвращения ее развития; при трещинах, располагающихся друг над другом, усиление совмещают одной МЗП; для усиления рекомендуется применять МЗП с модулем сдвига соединения, соответствующим модулю сдвига древесины (500 МПа); МЗП следует устанавливать попарно, симметрично по обе стороны балки (рис. 2));

разработка технологической карты на производство работ;

подготовка участка поверхности балки для усиления с помощью МЗП – выравнивание ручным или механизированным инструментом (влажность древесины при проведении ремонтно-восстановительных работ – 12...16 %);

вывешивание для разгрузки конструкции с установкой стоек;

последовательная запрессовка МЗП одиночно или попарно в соответствии со схемой расстановки МЗП; изгиб зубьев и пластины при запрессовке МЗП в древесину не допускается;

демонтаж разгружающих элементов после усиления балки;

визуально-инструментальная проверка качества работ;

испытание статическими или динамическими нагрузками ответственных несущих КДК.

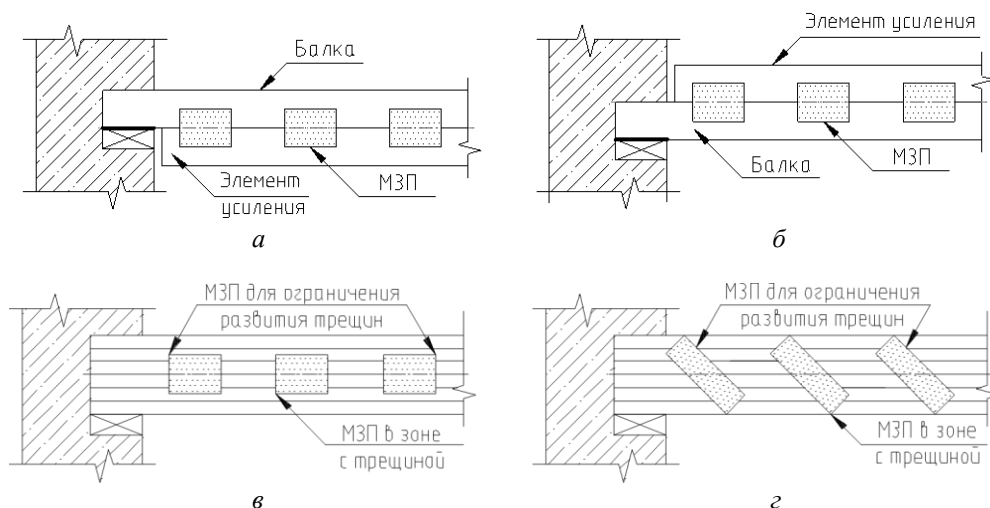


Рис. 2. Варианты усиления балок МЗП: а, б – усиление дополнительным элементом снизу и сверху соответственно; в, г – усиление в зоне с трещиной и в зоне с трещинами соответственно

Усиление МЗП может быть выполнено без демонтажа и с демонтажем конструкции и последующим усилением в заводских условиях. Первый способ представляет больший интерес, так как позволяет не останавливать эксплуатацию сооружения на период проведения работ по усилению деревянных конструкций. Усиление клееных деревянных балок на высоте требует создания специальной оснастки, основным элементом которой является устройство для одно- или двухсторонней запрессовки МЗП на проектной отметке (рис. 3).

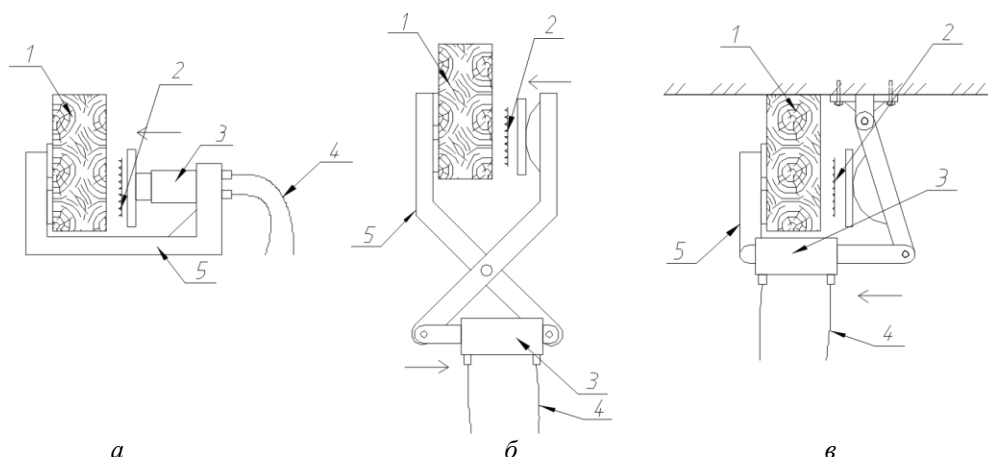


Рис. 3. Способы запрессовки МЗП для усиления балки: *а* – по типу «скоба»; *б* – по типу «ножницы»; *в* – с опорой на плиту перекрытия; 1 – деревянная балка; 2 – МЗП; 3 – гидравлический цилиндр; 4 – гидропривод; 5 – опорное устройство

Заключение

Таким образом, технологию усиления клееных деревянных конструкций металлическими зубчатыми пластинами можно применять для составных деревянных конструкций и балок из цельной ретродревеси́ны с образовавшимися в процессе эксплуатации дефектами в виде трещин (по древесине) и расслоений (по клеевым швам), что позволит снизить расход конструкционных пиломатериалов и обеспечит сбережение ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаев В.В., Цепяев В.А. Расчетные характеристики древесины в соединениях строительных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Жилищ. стр.-во. 2006. № 2. С. 14–15.
2. Карельский А.В. Технология изготовления составных деревянных конструкций с металлическими зубчатыми пластинами: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2015. 138 с.
3. Карельский А.В., Журавлева Т.П., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Влияние трещин на напряженно-деформированное состояние клееных деревянных балок // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Междунар. акад. чтений. Курск: Курский гос. ун-т, 2015. С. 153–158.
4. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Классификация дефектов и повреждений конструкций, выполненных из клееной древесины // Деревянные конструкции-2011: образование, практика, инновации в странах Баренцева Евро-Арктического региона: сб. науч. тр. Междунар. науч.-образоват. семинара. Архангельск, 2012. С. 165.

5. Карельский А.В., Лабудин Б.В., Мелехов В.И. Требования к надежности и безопасной эксплуатации большепролетных клееных деревянных конструкций // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 143–147. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Котлов В.Г. Пространственные конструкции из деревянных ферм с узловыми соединениями на металлических зубчатых пластинах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1992. 17 с.
7. Крицин А.В. Расчет сквозных деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах с учетом упруго-вязких и пластических деформаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Н. Новгород, 2004. 24 с.
8. Лоскутова Д.В. Прочность и деформативность узловых соединений на металлических зубчатых пластинах в сквозных деревянных конструкциях: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2009. 24 с.
9. Миронов В.Г. Проектирование строительных конструкций с соединениями на металлических нагельных пластинах в странах СНГ // Проектирование и изготовление деревянных конструкций с соединениями на металлических нагельных пластинах и нагельных группах: сб. докл. Междунар. конф., 1–3 сент. 1992 г. Киров, 1992. С. 11–25.
10. Найчук А.Я. Прочность элементов деревянных конструкций в условиях сложного неоднородного напряженного состояния: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2006. 378 с.
11. Наумов А.К. Изготовление деревянных конструкций, соединенных металлическими зубчатыми пластинами // Механ. обраб. древесины. 1976. № 7. С. 8–10.
12. Орлович Р.Б., Лабудин Б.В. Деформативность упругоподатливых соединений в деревянных конструкциях при длительных воздействиях // Лесн. журн. 1993. № 1. С. 78–82. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Рощина С.И., Сергеев М.С., Лукина А.В. Армированные деревянные конструкции // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 80–85. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Серов Е.Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1988. 521 с.
15. СП 13-102–2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2003. 28 с.
16. Стоянов В.В. Деревянные конструкции в условиях Европейского Севера // Лесн. журн. 2014. № 4. С. 149–153. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. Стоянов В.В., Жгалли Ш. Повышение несущей способности деревянных изгибаемых элементов // Лесн. журн. 2016. № 1. С. 115–121. (Изв. высш. учеб. заведений).
18. Ценаев В.А. Исследование длительной прочности и деформативности соединений элементов деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах: дис. ... канд. техн. наук. М., 1982. 204 с.
19. Beineke L., Suddarth S. Modeling Joints Made with Light-Gage Metal Connector Plates // Forest Products Journal. 1979. Vol. 29, no. 8. Pp. 39–45.
20. Blaß H.J., Schädle P. Ductility Aspects of Reinforced and Non-Reinforced Timber Joints // Engineering Structures. 2011. Vol. 33, iss. 11. Pp. 3018–3026.
21. Erdodi L., Bodi I. Experimental and Numerical Analysis of Timber Joints // High Performance Structures and Materials: The 2nd Intern. Conf. Heraklion, Greece, March 12–15, 2004 / Ed. by C.A. Brebbia, W.P. Wilde. London: Witpress, 2004. Pp. 201–210.
22. Fox S.E. Repair of Wood Trusses // Structure Magazine. 2008. November. Pp. 46–49.
23. Gattesco N., Macorini L. In-plane Stiffening Techniques with Nail Plates or CFRP Strips for Timber Floors in Historical Masonry Buildings // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 58. Pp. 64–76.
24. Humbert J., Boudaud C., Baroth J., Hameury S., Daudeville L. Joints and Wood Shear Walls Modelling I: Constitutive Law, Experimental Tests and FE Model under Quasi-Static Loading // Engineering Structures. 2014. Vol. 65. Pp. 52–61.

25. Karadelis J., Brown P. Punched Metal Plate Timber Fasteners under Fatigue Loading // *Construction and Building Materials*. 2000. Vol. 14, iss. 2. Pp. 99–108.
26. Loferski J.R., Bouldin J.C., Hindman D.P. Development of a Methodology for the Visual Inspection of Engineered Wood Products and Metal Hangers in Residential Construction // *Proc. 2nd Intern. Conf. Structural Health Assessment of Timber Structures* (Trento, Italy, September 4–6, 2013) / Ed. by M. Piazza, M. Riggio. Pp. 342–349.
27. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech // *Bauen mit Holz*. 1989. Vol. 12. Pp. 872–877.
28. Nielsen J. An Unravelling of the Effect of Partially Embedded Punched Metal Plate Fastener on the Lateral Anchorage Strength // *Structural Design*. 1999. No. 3. 19 p.
29. Rammer D.R. Wood: Mechanical Fasteners // *Reference Module in Materials, Science and Materials Engineering* / Ed. by S. Hashmi. Oxford: Elsevier, 2016. Pp. 1–10.

Поступила 19.09.17

UDC 624.078.4; 624.011.2
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

Reinforcement Technology of Laminated Wood Structures by Gang Nail

A.V. Karel'skiy, *Candidate of Engineering Sciences*

T.P. Zhuravleva, *Postgraduate Student*

V.V. Filippov, *Student*

B.V. Labudin, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

V.I. Melekhov, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 22, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: KAW_79@mail.ru

Violation of operation modes, manufacturing technology, and force effects in laminated wood constructions of buildings and structures cause defects and damages that reduce their strength and deformation characteristics. The most common defect is the delamination of glue joints with the formation of longitudinal cracks leading to the pre-emergency state of structures, which requires their additional reinforcement. The existing methods of strengthening are technologically complex and involve the dismantling of defective elements or structures with their replacement by new ones, which leads to additional costs for repair and restoration. Therefore, the use of modern technological solutions to reinforce solid and laminated wood structures is an urgent problem of the construction industry. The strengthening process include three stages: inspection, design and installation works. The inspection stage involves determining all the required parameters for the gain design. To assess the effect of cracks on the bearing capacity of the structure we propose to use a hinged-rod model with glued wood as an anisotropic elastic body with a crack appeared by removing the shear bonds from the discrete system. Based on calculations, the author select the size, step, quantity and nail gang type, taking into account the compliance of the joint. We consider options for reinforcing laminated wood structures, methods of nail gang pressing at the design mark, the performing technology. The proposed gang nail reinforcement technologies of laminated wood structures with longitudinal cracks allow reducing the consumption of structural lumber.

Keywords: wood, laminated wood structure, gang nail, hinged-rod model, gluejoint defect, delamination, reinforcement.

For citation: Karel'skiy A.V., Zhuravleva T.P., Filippov V.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Reinforcement Technology of Laminated Wood Structures by Gang Nail. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 80–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.80

REFERENCES

1. Ermolaev V.V., Tsepaev V.A. Raschetnye kharakteristiki drevesiny v soediniyakh stroitel'nykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh [Calculated Characteristics of Wood in Structural Connections with Gang Nail]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*, 2006, no. 2, pp. 14–15.
2. Karel'skiy A.V. *Tekhnologiya izgotovleniya sostavnykh derevyannykh konstruksiy s metallicheskim zubchatymi plastinami*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Manufacturing Technology of Composite Wooden Structures with Gang Nail: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2015. 138 p.
3. Karel'skiy A.V., Zhuravleva T.P., Labudin B.V., Melekhov V.I. Vliyanie treshchin na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie kleennykh derevyannykh balok [Influence of Delamination on the Strain-Stress State of Glued Laminated Beams]. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunar. akad. chteniy* [Safety of the Building Fund of Russia. Problems and Solutions: Proc. Intern. Academic Readings]. Kursk, Kursk State University Publ., 2015, pp. 153–158. (In Russ.)
4. Karel'skiy A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Klassifikatsiya defektov i povrezhdeniy konstruksiy, vypolnennykh iz kleenoy drevesiny [Defects and Damages Classification of Glulam]. *Derevyannye konstruksii-2011: obrazovanie, praktika, innovatsii v stranakh Barentseva Evro-Arkticheskogo regiona: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-obrazovat. seminar* [Wooden Constructions – 2011: Education, Practice, Innovations in the Countries of the Barents Euro-Arctic Region: Proc. Intern. Sci. Educational Seminar]. Arkhangelsk, 2012. 165 p. (In Russ.)
5. Karel'skiy A.V., Labudin B.V., Melekhov V.I. Trebovaniya k nadezhnosti i bezopasnoy ekspluatatsii bol'sheproletnykh kleennykh derevyannykh konstruksiy [Reliability Requirements for the Large-Span Laminated Wood Structural Elements]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 3, pp. 143–147.
6. Kotlov V.G. *Prostranstvennye konstruksii iz derevyannykh ferm s uzlovymi soedineniyami na metallicheskih zubchatykh plastinakh*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Spatial Structures from Wooden Trusses with Gang Nail Nodes: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 1992. 17 p.
7. Kritsin A.V. *Raschet skvoznykh derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh plastinakh s uchetom uprugovykh i plasticheskikh deformatsiy*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Calculation of Framed Wooden Structures Connected with Gang Nail Considering the Elastoviscoplastic Deformations: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Nizhniy Novgorod, 2004. 24 p.
8. Loskutova D.V. *Prochnost' i deformativnost' uzlovykh soedineniy na metallicheskih zubchatykh plastinakh v skvoznykh derevyannykh konstruksiyakh*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Strength and Deformability of the Gang Nail Joint Connections in Framed Wooden Structures: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Tomsk, 2009. 24 p.
9. Mironov V.G. *Proektirovanie stroitel'nykh konstruksiy s soedineniyami na metallicheskih nagel'nykh plastinakh v stranakh SNG* [Design of Building Structures with Gang Nail Connections in the CIS Countries]. *Proektirovanie i izgotovlenie derevyannykh konstruksiy s soedineniyami na metallicheskih nagel'nykh plastinakh i nagel'nykh grup-pakh: sb. dokl. Mezhdunar. konf., Kirov, 1–3 sent. 1992 g.* [Designing and Manufacturing of Wooden Constructions with Gang Nailed and Nailed Group Connections: Proc. Intern. Conf., Kirov, 1–3 September 1992]. Kirov, 1992, pp. 11–25. (In Russ.)
10. Naychuk A.Ya. *Prochnost' elementov derevyannykh konstruksiy v usloviyakh slozhnogo neodnorodnogo napryazhennogo sostoyaniya*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Strength of Wooden Structural Elements within the Conditions of Complex Non-Homogeneous Stress: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 2006. 378 p.
11. Naumov A.K. *Izgotovlenie derevyannykh konstruksiy, soedinennykh metallicheskim zubchatymi plastinami* [Manufacturing of Wooden Structures Connected with Gang Nail]. *Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny*, 1976, no. 7, pp. 8–10.
12. Orlovich R.B., Labudin B.V. *Deformativnost' uprugopodatlivykh soedineniy v derevyannykh konstruksiyakh pri dlitel'nykh vozdeystviyakh* [Deformation of Resilient

- Joints in Wooden Structures after Long-Term Effects]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1993, no. 1, pp. 78–82.
13. Roshchina S.I., Sergeev M.S., Lukina A.V. Armirovannye derevyannye konstruksii [Reinforced Wooden Structures]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 4, pp. 80–85.
 14. Serov E.N. *Ratsional'noe ispol'zovanie anizotropii prochnosti materialov v kleenykh derevyannykh konstruksiyakh massovogo izgotovleniya*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Rational Use of Strength Anisotropy in the Laminated Wood Structures of Mass Production: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, 1988. 521 p. (In Russ.)
 15. SP 13-102-2003. *Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitel'nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy* [Code Specification 13-102-2003. Rules for Inspection of Load-Bearing Structures of Buildings and Constructions.] Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2003. 28 p.
 16. Stoyanov V.V. Derevyannye konstruksii v usloviyakh Evropeyskogo Severa [Timber Constructions in the European North]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 4, pp. 149–153.
 17. Stoyanov V.V., Zhgalli Sh. Povyshenie nesushchey sposobnosti derevyannykh izgibaemykh elementov [Load Bearing Capacity of Wooden Bending Elements]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 1, pp. 115–121.
 18. Tsepaev V.A. *Issledovanie dlitel'noy prochnosti i deformativnosti soedineniy elementov derevyannykh konstruksiy na metallicheskih zubchatykh platinakh*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of Long-Term Strength and Deformability of Gang Nail Connections of Wood Structure Elements: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1982. 204 p.
 19. Beineke L., Suddarth S. Modeling Joints Made with Light-Gage Metal Connector Plates. *Forest Products Journal*, 1979, vol. 29, no. 8, pp. 39–45.
 20. Blaß H.J., Schädle P. Ductility Aspects of Reinforced and Non-Reinforced Timber Joints. *Engineering Structures*, 2011, vol. 33, iss. 11, pp. 3018–3026.
 21. Erdodi L., Bodi I. Experimental and Numerical Analysis of Timber Joints. *High Performance Structures and Materials. The 2nd Intern. Conf. Heraklion, Greece, March 12–15, 2004*. Ed. by C.A. Brebbia, W.P. Wilde. London, Witpress, 2004, pp. 201–210.
 22. Fox S.E. Repair of Wood Trusses. *Structure Magazine*, 2008, November, pp. 46–49.
 23. Gattesco N., Macorini L. In-plane Stiffening Techniques with Nail Plates or CFRP Strips for Timber Floors in Historical Masonry Buildings. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 58, pp. 64–76.
 24. Humbert J., Boudaud C., Baroth J., Hameury S., Daudeville L. Joints and Wood Shear Walls Modelling I: Constitutive Law, Experimental Tests and FE Model under Quasi-Static Loading. *Engineering Structures*, 2014, vol. 65, pp. 52–61.
 25. Karadelis J., Brown P. Punched Metal Plate Timber Fasteners under Fatigue Loading. *Construction and Building Materials*, 2000, vol. 14, iss. 2, pp. 99–108.
 26. Loferski J.R., Bouldin J.C., Hindman D.P. Development of a Methodology for the Visual Inspection of Engineered Wood Products and Metal Hangers in Residential Construction. *Proc. 2nd Intern. Conf. Structural Health Assessment of Timber Structures. Trento, Italy, September 4–6, 2013*. Ed. by M. Piazza, M. Riggio. Trento, Italy, 2013, pp. 342–349.
 27. Malinowski C. Zur Geschichte der Verbindungstechnik-Verbinder aus Stahlblech. *Bauen mit Holz*, 1989, vol. 12, pp. 872–877.
 28. Nielsen J. An Unravelling of the Effect of Partially Embedded Punched Metal Plate Fastener on the Lateral Anchorage Strength. *Structural Design*, 1999, no. 3. 19 p.
 29. Rammer D.R. Wood: Mechanical Fasteners. *Reference Module in Materials. Science and Materials Engineering*. Ed. by S. Hashmi. Oxford, Elsevier, 2016, pp. 1–10.

Received on 19.09.17

УДК 674.09

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА И ПРОГИБА
В СЕЧЕНИЯХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ЛИСТВЕННОЙ ДАУРСКОЙ
ОТ ДЕЙСТВИЯ НАЧАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ****В.Н. Глухих¹, д-р техн. наук, проф.****А.Ю. Охлопкова², рук. службы качества**¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005; e-mail: vnglukhikh@mail.ru²ООО «Азия Лес», пер. Облачный, д. 78А, офис 11, г. Хабаровск, Россия, 680030; e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

В статье приведено решение задачи по определению изгибающего момента от действия начальных напряжений в пиломатериалах, сформировавшихся в процессе роста деревьев лиственницы даурской. Для размера ядровой зоны, характерной для этой породы деревьев, принято распределение начальных напряжений по объему ствола дерева с использованием закона параболоида 14-й степени. Получены математические модели для исследования начальных напряжений и прогиба пиломатериалов от действия начальных напряжений и собственного веса, позволяющие установить размер длины досок, при котором их результирующий прогиб будет равен нулю. Величина результирующего прогиба зависит от положения годичных слоев в доске, а это является объективным подтверждением присутствия в ней начальных напряжений. Математические модели прогиба пиломатериалов свидетельствуют о влиянии положения годичных слоев, что служит обоснованием двойного измерения прогиба досок (со стороны как наружной, так и внутренней пласти) при машинной силовой сортировке. На основании этого потребуются корректировка способа и усовершенствование конструкций машин для силовой сортировки пиломатериалов с учетом действия в них начальных напряжений, сформировавшихся в период роста деревьев. Результаты исследований позволяют определять модуль упругости и начальные напряжения в пиломатериалах из древесины лиственницы даурской и других пород, что важно при установлении класса их прочности в процессе силовой машинной сортировки. За счет подбора и рационального расположения конструктивных пиломатериалов в клееной строительной деревянной конструкции с учетом присутствия в ней начальных напряжений можно повысить ее несущую способность. Пиломатериалы, естественно изогнутые из-за наличия в них начальных напряжений, могут быть отобраны для изготовления элементов арок и сводов. Разработанные математические модели могут служить основой для создания компьютерных технологий проектирования и изготовления высокопрочных клееных деревянных строительных конструкций. Результаты исследований позволяют на стадии составления схемы раскроя пиловочника из лиственницы даурской определять естественную кривизну досок, появляющуюся в них из-за действия начальных напряжений, что будет способствовать повышению качества лиственничных пиломатериалов и сокращению их потерь из-за продольного коробления при камерной сушке.

Ключевые слова: начальные напряжения, изгибающий момент, модуль упругости, прогиб, собственный вес пиломатериалов, лиственница даурская, математические модели, класс прочности.

Для цитирования: Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 89–98. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

Введение

В целом ряде работ отечественных и зарубежных ученых [5–7, 10, 13, 15] отмечается появление искривлений по пласти и по кромке в процессе технологической обработки пиломатериалов, что понижает их сортность и приводит к значительным потерям сухой древесины. Особенно подвержены этому пиломатериалы из лиственницы. В работах [3, 8, 9, 11, 12] приведено обоснование гипотезы влияния начальных напряжений в стволе дерева на деформации пиломатериалов при последующей выпилке. В работах [1–6, 9, 11] фиксируется влияние соотношения радиуса спелой (ядровой) древесины и радиуса ствола дерева с заболонной древесиной на прочностные свойства ствола дерева, что свойственно и для лиственницы даурской. Для этой древесины характерным является следующее отношение радиуса ядровой зоны к радиусу ствола дерева: 0,80...0,95. Согласно параболическому закону [9], данные характеристики ствола дерева подразумевают распределение начальных напряжений по параболоиду 14-й степени. Логарифмический закон распределения начальных напряжений по объему ствола дерева, предложенный Кюблером [11], характеризует древесину с одинаковой прочностью при сжатии вдоль волокон и при статическом изгибе, что не подходит для древесины лиственницы даурской [9]. Для этой породы древесины наши данные [3, 9] о распределении начальных напряжений σ_n подчиняются закону параболоида 14-й степени:

$$\sigma_n = k_{14}(z^2 + y^2)^7 - \sigma_0, \quad (1)$$

где $k_{14} = \frac{\sigma_0 + \sigma_R}{R^{14}}$;

z, y – координаты по осям Z и Y соответственно;

σ_0, σ_R – начальные напряжения в направлении вдоль волокон древесины в центре сечения ствола и на его периферии;

R – радиус исследуемого сечения ствола.

С учетом найденного нами соотношения $\sigma_R = 7\sigma_0$ [3, 9] имеем:

$$k_{14} = \frac{7\sigma_0 + \sigma_0}{R^{14}} = \frac{8\sigma_0}{R^{14}}. \quad (2)$$

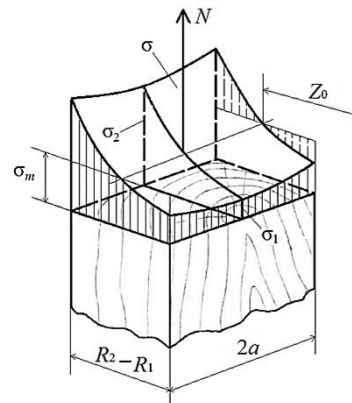
Значения напряжений σ_0 и σ_R с учетом отношения пределов прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон численно принимаем $\sigma_{BC} = 6,25\sigma_0$.

Отсюда

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{BC}}{6,25}. \quad (3)$$

Определяем равнодействующую внутренних усилий в сечениях пиломатериалов (рис. 1), учитывая координаты положения пиломатериалов в поперечном сечении бревна.

Рис. 1. Распределение начальных напряжений вдоль волокон доски до выпилки ее из бревна: N – равнодействующая внутренних усилий в сечении пиломатериала; Z_0 – координата по оси Z центра пиломатериала; σ_1, σ_2 – начальные напряжения на внутренней и наружной пласти пиломатериала; σ_m – среднее значение начального напряжения в сечении пиломатериала



В результате

$$N = \int_{-a}^{+a} dy \int_{R_1}^{R_2} [k_{14}(z^2 + y^2)^7 - b_0] dz = k_{14} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) + \right. \\ \left. - R_1^{13} (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) (a_2^7 - a_1^7) + \right. \\ \left. + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) - \right. \\ \left. - a_1^{13} \right) + \frac{1}{15} (R_2 - R_1) (a_2^{15} - a_1^{15}) \Big\} - b_0 (R_2 - R_1) (a_2 - a_1), \quad (4)$$

где R_1, R_2 – координаты внутренней и наружной пластей доски на схеме раскроя бревна;

b_0 – начальное напряжение в центре сечения ствола дерева;

a_1, a_2 – координаты кромок доски.

Необходимо учитывать симметричность сечения пиломатериалов и симметричность их положения относительно оси ОХ в бревне (рис. 2).

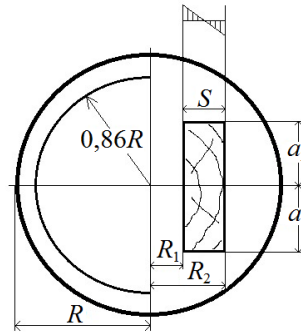


Рис. 2. Схема расположения доски в сечении бревна

Тогда среднее напряжение в сечении сортимента составляет:

$$\sigma_m = \frac{1}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left[k_{14} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) + \right. \right. \\ \left. + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \right. \\ \left. + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{15} (R_2 - R_1) \times \right. \\ \left. \times (a_2^{15} - a_1^{15}) \right\} - b_0 (R_2 - R_1) (a_2 - a_1) \Big]. \quad (5)$$

Переменная составляющая начального напряжения в сечениях пиломатериалов

$$\sigma = \sigma_n - \sigma_m = k_{14} (x^2 + y^2)^7 - \frac{k_{14}}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left\{ \frac{R_2^{15} - R_1^{15}}{15} (a_2 - a_1) + \right. \\ \left. + \frac{7}{39} (R_2^{13} - R_1^{13}) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{55} (R_2^{11} - R_1^{11}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{63} (R_2^9 - R_1^9) \times \right. \\ \left. \times (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{63} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{55} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \right. \\ \left. + \frac{7}{39} (R_2^3 - R_1^3) (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{R_2 - R_1}{15} (a_2^{15} - a_1^{15}) \right\}. \quad (6)$$

Изгибающий момент в плоскости ZOX:

$$\begin{aligned}
 M_{y_0} = & \int_{a_1}^{a_2} dy \int_{R_1}^{R_2} k_{14} \left[(z^2 + y^2)^7 - \frac{1}{(a_2 - a_1)(R_2 - R_1)} \left\{ \frac{R_{15}}{15} (a_2 - a_1) + \frac{7}{39} R_{13} a_3 + \right. \right. \\
 & + \frac{21}{55} R_{11} a_5 + \frac{35}{63} R_9 a_7 + \frac{35}{63} R_7 a_9 + \frac{21}{55} R_5 a_{11} + \frac{7}{39} R_3 a_{13} + \left. \frac{R_2 - R_1}{15} a_{15} \right\} \Big] zd = \\
 = & k_{14} \left[\frac{1}{16} (R_2^{16} - R_1^{16}) (a_2 - a_1) + \frac{1}{6} (R_2^{14} - R_1^{14}) (a_2^3 - a_1^3) + \frac{7}{2} (R_2^{12} - \right. \\
 & - R_1^{12}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{1}{2} (R_2^{10} - R_1^{10}) (a_2^7 - a_1^7) + \frac{35}{72} (R_2^8 - R_1^8) (a_2^9 - a_1^9) + \\
 & + \frac{7}{22} (R_2^6 - R_1^6) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{52} (R_2^4 - R_1^4) (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{30} (R_2^2 - R_1^2) \times \\
 & \times (a_2^{15} - a_1^{15}) - (R_2 - R_1) \left\{ \frac{1}{30} (R_2^{15} - R_1^{15}) (a_2 - a_1) + \frac{7}{78} (R_2^{13} - R_1^{13}) \times \right. \\
 & \times (a_2^3 - a_1^3) + \frac{21}{110} (R_2^{10} - R_1^{10}) (a_2^5 - a_1^5) + \frac{35}{126} (R_2^9 - R_1^9) (a_2^7 - a_1^7) + \\
 & + \frac{35}{126} (R_2^7 - R_1^7) (a_2^9 - a_1^9) + \frac{21}{110} (R_2^5 - R_1^5) (a_2^{11} - a_1^{11}) + \frac{7}{78} (R_2^3 - R_1^3) \times \\
 & \left. \left. \times (a_2^{13} - a_1^{13}) + \frac{1}{30} (R_2 - R_1) (a_2^{15} - a_1^{15}) \right\} \right], \quad (7)
 \end{aligned}$$

где $R_i = R_2^i - R_1^i$;
 $a_i = a_2^i - a_1^i$.

На рис. 3 представлены варианты решений по определению прогиба досок сечениями 16×100/125; 25×100/125/150; 40×100/125/150 мм, выпиленных из бревна диаметром 24 см при модуле упругости $E = 13,2$ МПа; $\sigma_{BC} = 64,8$ МПа [1]; сбеги – 1,2 см/м; $R_0 = (0,80 \dots 0,95)R$; $a_1 = -B/2$; $a_2 = B/2$ (где R_0 – радиус ядровой зоны ствола, мм; B – ширина пиломатериала, мм).

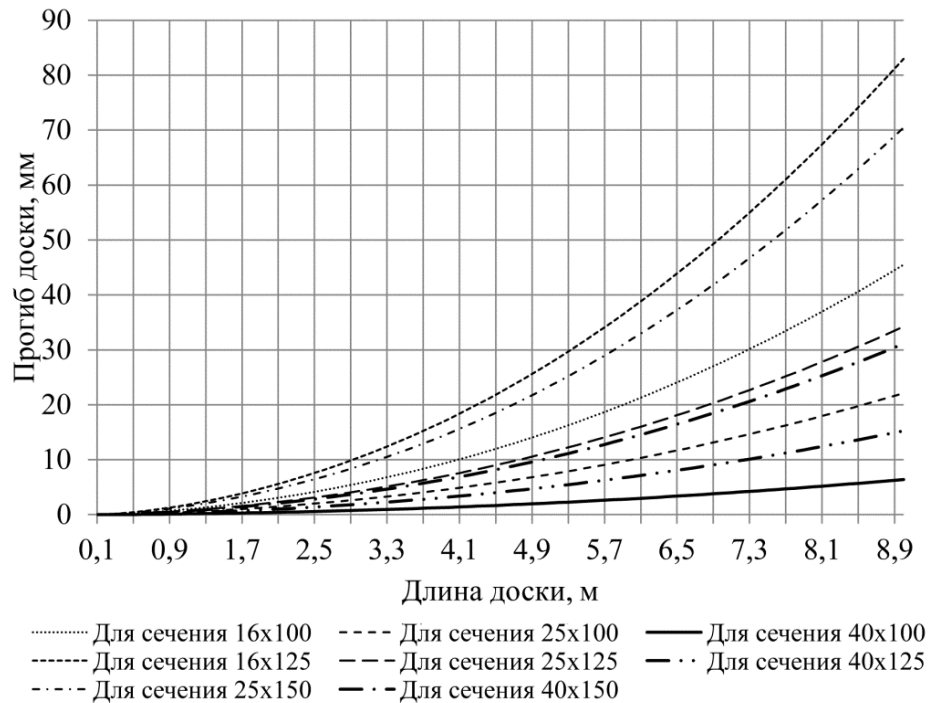


Рис. 3. Прогиб досок разного сечения от действия начальных напряжений (Y_n) в зависимости от длины доски с учетом сбега (размеры сечения приведены в миллиметрах)

Аналогичная задача, решение которой было получено при компьютерной симуляции с использованием метода конечных элементов [14] для доски размером 54×156×5000 мм, выпиленной из бревна диаметром 26 см при соотношении $R_0 = 0,88R$, дала значение прогиба в середине пролета 20,7 мм.

Объекты и методы исследования

Для нахождения прогиба доски по пласти можно использовать простейшую схему в виде установленных по торцам доски опор из того же материала, что и исследуемые пиломатериалы. Прогиб в этом случае будет складываться из прогиба доски под действием собственного веса и прогиба от действия моментов начальных напряжений. При ориентации доски наружной пластью вверх моменты будут стремиться выгнуть доску торцами вверх (рис. 4) и, следовательно, будут увеличивать прогиб; при ориентации доски наружной пластью вниз они будут стремиться выгнуть доску торцами вниз, т. е. будут уменьшать ее прогиб.

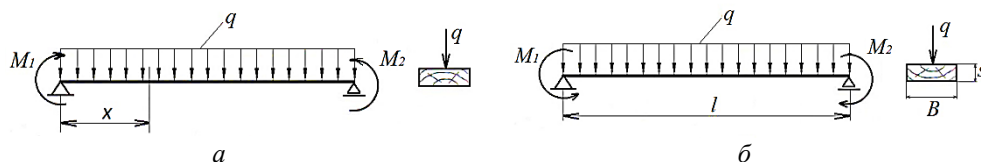


Рис. 4. Схема нагружения доски собственным весом и моментами от начальных напряжений, выходящих на торцы доски при верхнем (а) и нижнем (б) расположении наружной пласти

С учетом найденных в [2] постоянных интегрирования прогиб рассчитаем по следующим формулам:

при верхнем расположении наружной пласти

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} + q \frac{l}{12} x^3 - q \frac{x^4}{24} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - q \frac{l^3}{24} x - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (8)$$

при нижнем расположении наружной пласти

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} + q \frac{l}{12} x^3 - q \frac{x^4}{24} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - q \frac{l^3}{24} x - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (9)$$

без учета действия собственного веса

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[M_1 \frac{x^2}{2} - \frac{M_1}{6l} x^3 + \frac{M_2}{6l} x^3 - M_1 \frac{l}{3} x - M_2 \frac{l}{6} x \right]; \quad (10)$$

с учетом действия собственного веса

$$y = \frac{1}{EJ_z} \left[\frac{5ql^4}{384} - \frac{M_1 + M_2}{16} l^2 \right]; \quad (11)$$

в середине пролета без учета собственного веса

$$y_m = \frac{M_1 + M_2}{16EJ_z} l^2,$$

где M_1 и M_2 – изгибающие моменты в плоскости ZOX, действующие в вершинном и комлевом торце доски;

E – модуль упругости древесины, МПа;

J_z – осевой момент инерции сечения доски, $J_z = \frac{Bs^3}{12}$;

l – длина пиломатериалов, мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами были проведены опыты по изучению прогиба при различном расположении наружной пласти. Наблюдению подверглись лиственничные пиломатериалы длиной 5,1 м, выпиленные из бревен лиственницы даурской диаметром 18...28 см: сечение 54×156 мм – 131 шт.; сечение 30×130 мм – 130 шт. При среднем значении отношения радиуса заболони к радиусу бревна 0,905 среднее значение прогиба от действия начальных напряжений у досок из центрального постава сечением 54×156 мм составило 13 мм, максимальное – 39 мм, для сечения 30×130 мм – соответственно 8 и 25 мм. Следовательно, результаты практических наблюдений подтверждают расчетные значения.

Как было отмечено ранее, при ориентации доски наружной пластью вниз под действием начальных напряжений прогиб от собственного веса доски будет уменьшаться. Следовательно, при определенном соотношении параметров возможна некоторая естественная компенсация деформаций пиломатериалов от действия начальных напряжений.

Рассмотрим случай компенсации прогиба от действия начальных напряжений за счет действия собственного веса доски. Прогиб в середине пролета, вызванный собственным весом доски, рассчитаем по формуле

$$y = \frac{5ql^4}{384EJ_z}.$$

На рис. 5 представлены результаты расчета величины прогиба доски сечением 40×150 мм от действия начальных напряжений (Y_n) и ее собственного веса (Y_q).

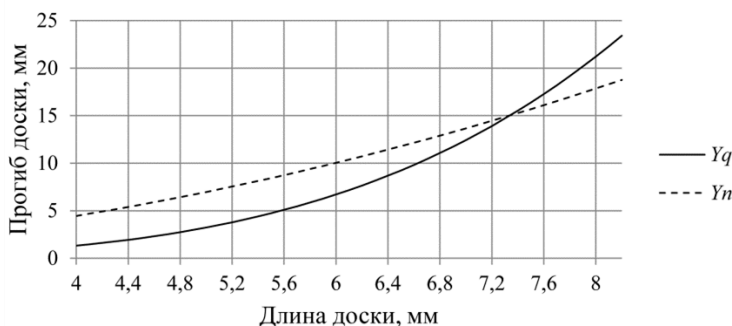


Рис. 5. Изменение прогиба доски от действия начальных напряжений (Y_n) и ее собственного веса (Y_q)

Как следует из рис. 5, при длине пиломатериала 7,25 м собственный вес доски предотвращает прогиб от начальных напряжений.

На рис. 6 приведены результаты расчета длины пиломатериалов, при которой прогибы от действия начальных напряжений и от действия собственного веса доски равны для разных сечений пиломатериалов.

Результаты исследования позволяют:

определять модуль упругости при изгибе пиломатериалов по прогибам со стороны обеих пластей и объективно оценивать их класс прочности независимо от породы древесины; для этого потребуется некоторое усовершенствование конструкций существующих машин для силовой сортировки;

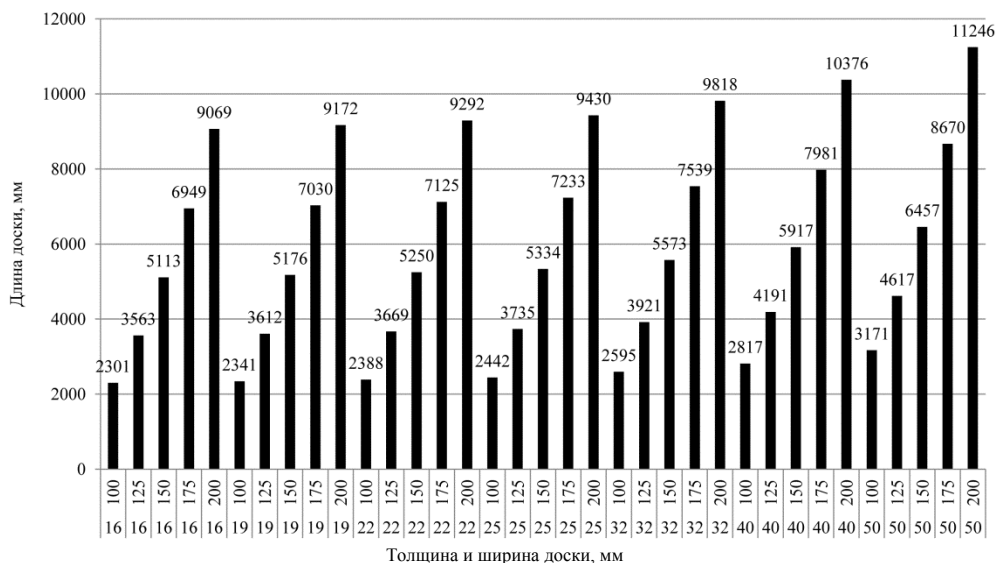


Рис. 6. Определение длины пиломатериалов, при которой прогибы доски от действия начальных напряжений и от действия собственного веса одинаковы

оценивать прочность древесины лиственницы даурской при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе в сопоставлении друг с другом.

Теоретически прогнозируется некоторое снижение прочности при сжатии вдоль волокон древесины любой породы в направлении от вершинного к комлевому торцу. Для проверки этого предположения требуется проведение соответствующего экспериментального исследования.

Выводы

1. Теоретические и экспериментальные исследования подтверждают факт неодинакового прогиба пиломатериалов в зависимости от положения годовичных слоев по отношению к направлению изгибающей нагрузки от собственного веса, что является объективным свидетельством присутствия начальных напряжений в них.

2. По результатам исследования изгибающего момента от действия начальных напряжений в пиломатериалах из лиственницы даурской можно теоретически определять естественную кривизну досок, знание которой в конечном счете позволит улучшить качество их сушки и сократить потери сухих пиломатериалов из-за продольного коробления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокщанин Ю.Р. Обработка и применение древесины лиственницы. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с.
2. Глухих В.Н., Акопян А.Л. Начальные напряжения в древесине: моногр. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 118 с.
3. Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 35–52.
4. Кузнецов А.И. Внутренние напряжения в древесине. М.: ГЛБИ, 1950. 60 с.
5. Родионов С.В., Маятин А.А., Зонов Е.Г. Профилограф для изучения величин коробления заготовок // Деревообаб. пром-сть. 1956. № 11. С. 10–13

6. *Стриха И.А.* Причина деформаций деталей из древесины и способы ее уменьшения // Деревообаб. и лесохим. пром-сть. 1954. № 7. С. 13–14
7. *Banks C.H.* Sawing and Stacking Timber to Reduce Warp // Timber Technologies. 1966. No. 3.
8. *Boyd J.D.* Tree Growth Stresses. I. Growth Stress Evaluation // Australian Journal of Scientific Research. 1950. Iss. 3. Pp. 270–293.
9. *Glukhikh V.N.* Change in Wood Strength under Static Bending and Compression along Fibers in the Process of Tree Growth // Architecture and Engineering. 2017. Vol. 2, iss. 1. Pp. 24–31.
10. *Kontek W., Paprzycki O.* Wplyw wymiarow probek i ukladu slojow rocznych na sile paczenia sie drewna // Wplyw wielokrotnych zmian wilgotności na odkształcenia trwałe i przejściowe płyt wiórowych i paździerzowych / Ed. by W. Kontek, K. Nowak, O. Paprzycki. Poznan, Poland, 1968. 67 p.
11. *Kübler H.* Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung // Holz als Roh- und Werkstoff. 1959. Vol. 17, iss. 1. Pp. 1–9.
12. *Nicholson J.E.* A Rapid Method for Estimating Longitudinal Growth Stresses in Logs // Wood Science and Technology. 1971. Vol. 5, iss. 1. Pp. 40–48.
13. *Okura S., Ozawa K., Takagaki N.* On the Twisting Warp of Wood. Part IV. Twisting Warp of Boards in Relation to Fiber Directions // Mokuzai Gakkaishi. 1963. No. 9(4). Pp. 121–124.
14. *Sivtsev P.V., Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Y.* Numerical Simulation of Deformations of Softwood Sawn Timber // Междунар. конф. «Многомасштабные методы и высокопроизводительные научные вычисления», Якутск, 30 июля – 04 августа 2017.
15. *Stevens W.C., Mech E.* Twist in Sitka Spruce // Timber Trades Journal. 1960. No. 2.

Поступила 21.09.17

UDC 674.09

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

Determination of Bending Moment and Deflection in Lumber Cross-Sections of Dahurian Larch from the Action of Initial Stresses

V.N. Glukhikh¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.Yu. Okhlopkova², QC Manager

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Vtoraya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: vnglukhikh@mail.ru

²Woodworking Complex “Asia Les”, per. Oblachnyi, 78A, off. 11, Khabarovsk, 680030, Russian Federation; e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

The article presents a solution to the problem of determining the bending moment from the action of initial stresses in sawn timber formed during the growth of Dahurian larch trees. We adopt the distribution of initial stresses along the stem volume using the law of the 14th degree paraboloid for the size of the core zone, characteristic of this tree species. The authors obtain the mathematical models for studying initial stresses and deflection of sawn timber from the action of initial stresses and own weight, which allow us to establish the

For citation: Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Yu. Determination of Bending Moment and Deflection in Lumber Cross-Sections of Dahurian Larch from the Action of Initial Stresses. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 89–98. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.89

size of the boards' length when their resultant deflection is equal to zero. The magnitude of the resultant deflection depends on the position of annual growth layers in the board, and this is an objective evidence of initial stresses in it. Mathematical models of lumber deflection demonstrate the impact of the position of annual growth layers, which serves as a justification for a double measurement of the boards' deflection (from the side of the outer and inner sawn face) during their machine stress grading. On that basis we should correct the method and improve the design of machines for stress grading of lumber taking into account the initial stresses in them formed during the tree growth. The results of the research allow defining the modulus of elasticity and initial stresses in lumber from Dahurian larch tree and other timber species, which are important when establishing the strength class in the process of stress machine grading. Due to the selection and rational arrangement of structural lumber in the glued building wood construction, taking into account the initial stresses in it, we can increase its load-bearing capacity. Lumber, naturally bent due to the presence of initial stresses, can be selected for producing elements of arches and vaults. The developed mathematical models can serve as a basis for creation of computer technologies for designing and manufacturing high-tenacity glued wooden building structures. The results of the research allow us at the stage of drawing up a scheme for cutting sawlog from Dahurian larch to determine natural sweep of boards appearing due to the action of initial stresses. This will improve the quality of larch lumber and reduce their losses due to twisting during kiln drying.

Keywords: initial stress, bending moment, modulus of elasticity, deflection, own weight of lumber, Dahurian larch, mathematical model, strength class.

REFERENCES

1. Bokshchanin Yu.R. *Obrabotka i primeneniye drevesiny listvennitsy* [Processing and Use of Larch Wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p. (In Russ.)
2. Glukhikh V.N., Akopyan A.L. *Nachal'nye napryazheniya v drevesine: monogr.* [Initial Stresses in Wood]. Saint Petersburg, SPSUACE Publ., 2016. 118 p. (In Russ.)
3. Glukhikh V.N., Okhlopko A.Yu. Formirovaniye smolyanykh karmashkov v stvolakh derev'ev listvennitsy daurskoy [Resin Pocket Formation in Tree Stems of Dahurian Larch]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 35–52.
4. Kuznetsov A.I. *Vnutrennie napryazheniya v drevesine* [Internal Stresses in Wood]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1950. 59 p. (In Russ.)
5. Rodionov S.V., Mayatin A.A., Zonov E.G. Profilograf dlya izucheniya velichiny korobleniya zagotovok [Profilograph for Studying the Value of Warping]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1956, no. 11, pp. 10–14.
6. Strikha I.A. Prichina deformatsiy detaley iz drevesiny i sposoby ee umen'sheniya [The Cause of Deformations of Wood Parts and Ways to Reduce It]. *Derevoobrabatyvayushchaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1954, no. 7, pp. 13–14.
7. Banks C.H. Sawing and Stacking Timber to Reduce Warp. *Timber Technologies*, 1966, no. 3.
8. Boyd J. D. Tree Growth Stresses. I. Growth Stress Evaluation. *Australian Journal of Scientific Research*, 1950, iss. 3, pp. 270–293.
9. Glukhikh V.N. Change in Wood Strength under Static Bending and Compression along Fibers in the Process of Tree Growth. *Architecture and Engineering*, 2017, vol. 2, iss. 1, pp. 24–31.
10. Kontek W., Paprzycki O. Wplyw wymiarow probek i ukladu slojow rocznych na sile paczenia sie drewna. *Wplyw wielokrotnych zmian wilgotności na odkształcenia trwałe i przejściowe płyt wiórowych i paździerzowych*. Ed. by W. Kontek, K. Nowak, O. Paprzycki. Poznan, Poland, 1968. 67 p.

11. Kübler H. Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1959, vol. 17, iss. 1, pp. 1–9.
12. Nicholson J.E. A Rapid Method for Estimating Longitudinal Growth Stresses in Logs. *Wood Science and Technology*, 1971, vol. 5, iss. 1, pp. 40–48.
13. Okura S., Ozawa K., Takagaki N. On the Twisting Warp of Wood. Part IV. Twisting Warp of Boards in Relation to Fiber Directions. *Mokuzai Gakkaishi*, 1963, no. 9(4), pp. 121–124.
14. Sivtsev P.V., Glukhikh V.N., Okhlopko A.Y. Numerical Simulation of Deformations of Softwood Sawn Timber. *Mezhdunar. konf. «Mnogomasshtabnye metody i vysokoproizvoditel'nye nauchnye vychisleniya»* [Proc. Intern. Conf. “Multiscale Methods and Large-Scale Scientific Computing”, Yakutsk, July 30 – August 04, 2017]. Yakutsk, 2017.
15. Stevens W.C., Mech E. Twist in Sitka Spruce. *Timber Trades Journal*, 1960, no. 2.

Received on September 21, 2017

УДК 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛЕНТОЧНОПИЛЬНОГО СТАНКА С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ АЭРОСТАТИЧЕСКИМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук

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

Ленточнопильные станки, получившие широкое применение в лесопилении благодаря малой ширине пропила, низкой шероховатости поверхности пиломатериалов, возможности распиловки бревен больших диаметров, имеют ряд недостатков: невысокая точность пиления на высоких скоростях подачи распиливаемого материала, малая долговечность пил, большие габаритные размеры и металлоемкость. На основании разработок и технических решений нами создан экспериментальный ленточнопильный станок с пилой, движущейся по криволинейным направляющим, рабочая поверхность которых выполнена в виде аэростатических опор. Исследования показали его неоспоримые преимущества по сравнению со станками традиционной конструкции, имеющими пильные шкивы: значительно повышается точность пиления за счет уменьшения свободной длины пилы в 5–6 раз и отсутствия биения и инерционности шкивов; возрастает в 20 раз и более долговечность пилы; снижаются габаритные размеры и металлоемкость. Созданный образец ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими, хотя и имеет перечисленные выше достоинства, но работы по дальнейшему совершенствованию его конструкции целесообразно продолжить по двум направлениям: совершенствование узла резания для повышения жесткости и устойчивости пилы, а следовательно, и точности пиления; модернизация механизма привода пилы для увеличения надежности его работы. Рассмотрены некоторые технические решения по улучшению конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими.

Ключевые слова: ленточнопильный станок, криволинейные аэростатические направляющие, узел резания, механизм привода пилы, линейный электродвигатель, ограничительные ролики.

Вопросы совершенствования ленточнопильных станков освещены в работах [8–10, 17–21]. Выполненные нами исследования по совершенствованию пиления древесины на ленточнопильных станках и технические разработки [1–7, 11–16] позволили создать экспериментальные ленточнопильные станки с пилой, движущейся по криволинейным аэростатическим направляющим.

Общий вид экспериментальных делительных станков приведен на рис. 1, описание их конструкции – в [12, 15, 16]. Испытания этих станков в производственных условиях на ЭПЗ «Красный Октябрь» подтвердили перспективность выбранного нами направления совершенствования ленточнопильного оборудования.

Для цитирования: Прокофьев Г.Ф. Совершенствование конструкции ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 99–108. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

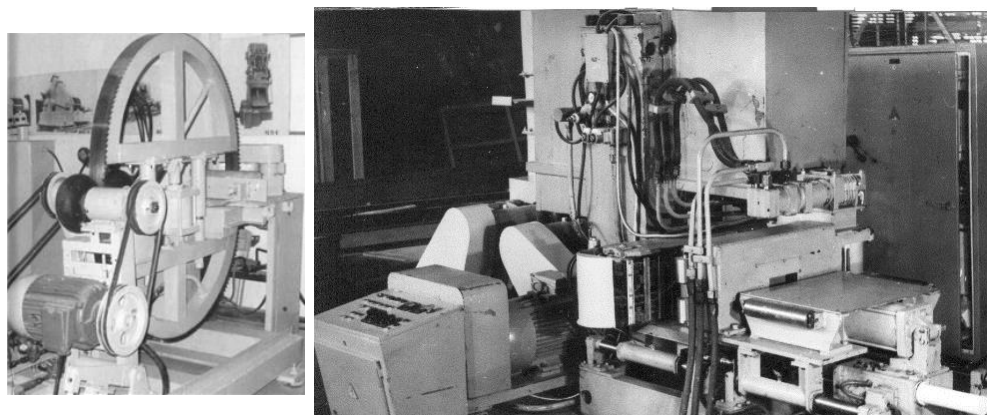


Рис. 1. Общий вид экспериментальных делительных ленточнопильных станков:
а – ЛСД-150; б – ЛД 150-1Э

Совершенствование ленточнопильных станков с криволинейными аэро-статическими направляющими следует вести по двум направлениям:

совершенствование узла резания для повышения жесткости и устойчивости пилы, а следовательно, и точности пиления;

совершенствование механизма привода пилы для увеличения надежности его работы.

В экспериментальных станках ЛСД-150 и ЛСД-150-1Э привод ленточной пилы осуществляется с помощью фрикционных колес, представляющих собой шины типа 310×135 модели 6 по ТУ 3800440–77. Были выполнены экспериментальные исследования привода ленточной пилы [13, 16] и определены предельная сила прижима колес к пиле и их деформация, коэффициент сцепления колес с пилой, оптимальное давление в камере шины колеса; получена формула для расчета числа приводных колес в зависимости от характеристики распиливаемого материала и режимов пиления. Установлено, что при использовании в приводе пилы 4 шт. приводных колес свободная длина пилы (расстояние между опорами) значительно возрастает, что снижает жесткость и устойчивость пилы, а следовательно, и точность пиления. В этом случае рекомендуется между криволинейными направляющими устанавливать дополнительные аэро-статические направляющие, одна из которых снабжена прижимной пружиной. Конструкция такого узла резания приведена на рис. 2.

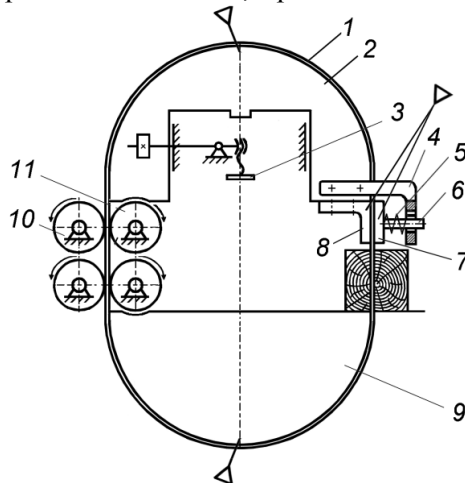


Рис. 2. Схема узла резания ленточно-пильного станка, защищенная а. с. № 1731632 [5]: 1 – ленточная пила; 2, 9 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэро-статические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 4 – кронштейн; 5 – пружина; 6 – стержень; 7, 8 – дополнительные аэро-статические направляющие; 10, 11 – приводные фрикционные колеса

Диаметр отверстий поддува в аэростатических направляющих должен быть переменным в зависимости от натяжения пилы, определяемого высотой пропила и режимами пиления, поэтому рекомендуется в криволинейных направляющих закреплять сменные втулки (жиклеры), имеющие разные диаметры отверстий поддува. При этом на их торцах выполняются распределительные канавки, совпадающие с распределительными канавками на криволинейных направляющих. Конструкция узла резания такого станка показана на рис. 3.

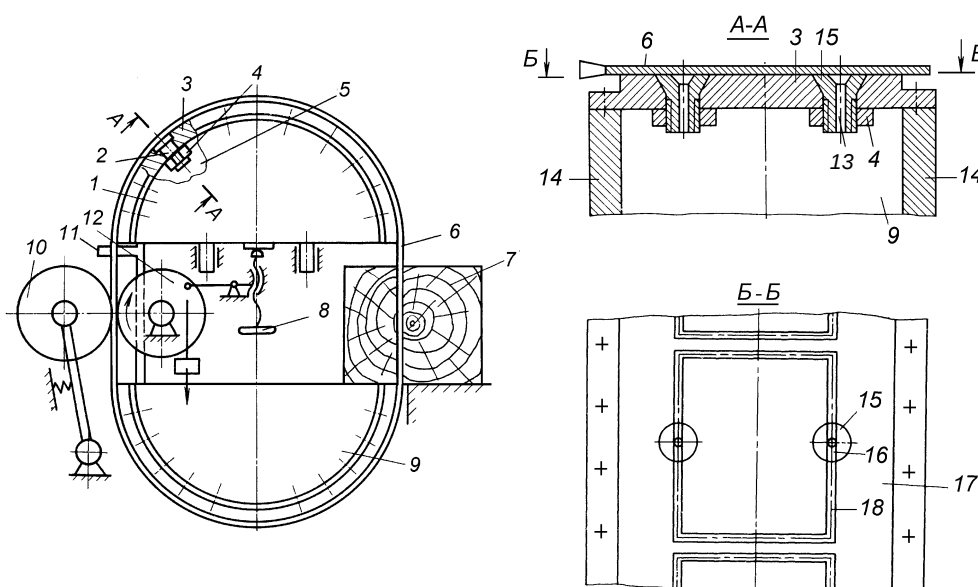


Рис. 3. Схема узла резания ленточнопильного станка, защищенная а. с. № 1230818 [3]: 1, 9 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэростатические направляющие; 2 – сменная втулка; 3 – криволинейная крышка; 4 – гайка; 5 – полость; 6 – ленточная пила; 7 – распиливаемый материал; 8 – механизм натяжения пилы; 10, 12 – соответственно прижимное и приводное фрикционные колеса; 11 – воздухоподводящая магистраль; 13 – отверстие поддува; 14 – корпус криволинейной направляющей; 15 – торец втулки; 16 – распределительная канавка на торце втулки; 17 – рабочая поверхность криволинейной направляющей; 18 – распределительная канавка на криволинейной направляющей

В работе [14] предложена конструкция узла резания (рис. 4) ленточнопильного станка, у которого криволинейные направляющие огибают ленточная пила и опорная лента.

Под пилу подводится сжатый воздух, образуя аэростатические опоры, при этом пила совершает однонаправленное движение и резание древесины. Опорная лента закреплена и не совершает движение. Толщина t опорной ленты больше толщины пилы s , но меньше ширины пропила:

$$s < t < s + 2s',$$

где s' – уширение зубьев на сторону.

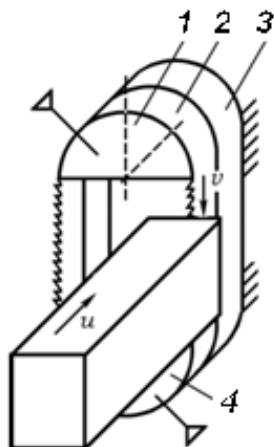


Рис. 4. Принципиальная схема ленточнопильного станка с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим и неподвижной опорной ленте (а. с. № 1813629 [6]): 1, 4 – верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 2 – ленточная пила; 3 – неподвижная опорная лента

Для уменьшения трения к торцу опорной ленты подведена смазка. Опорная лента выполняет роль расклинивающего и направляющего ножа. У ленточнопильного станка такого типа свободная длина пилы в плоскости ее наибольшей жесткости равна 0. Ее устойчивость значительно выше, чем у станков других конструкций.

Расчеты, выполненные в работе [14], показывают, что устойчивость пилы этого станка в 26–30 раз выше, чем у ленточнопильного станка традиционной конструкции с пильными шкивами, и в 2,2–2,6 раза выше по сравнению с устойчивостью пилы, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим без опорной ленты. Это техническое решение требует глубокой конструкторской проработки.

Распиловка древесины на экспериментальных ленточнопильных станках с криволинейными аэроэстатическими направляющими показала устойчивую работу пилы за счет механизма привода и конструкции направляющих. Однако при интенсификации пиления возможен сход пилы с аэроэстатических направляющих от сил, действующих на нее в направлении подачи. Для исключения подобной аварийной ситуации недостаточно установки двух свободно вращающихся роликов у задней кромки пилы (и у столярных, и у горизонтальных ленточнопильных станков), так как через две точки можно провести бесконечно большое количество плоскостей. Для того, чтобы периферийные точки ограничительных роликов образовывали одну плоскость, перпендикулярную направлению подачи, необходимы именно три ролика, причем два из них должны быть расположены за задней кромкой пилы, над и под распиливаемым материалом, а третий – у холостой ветви пилы. Конструкция узла резания ленточнопильного станка показана на рис. 5.

Эффективность работы ленточнопильного станка в значительной степени зависит от конструкции механизма привода ленточной пилы. Он должен быть надежным, компактным, управляемым.

В экспериментальных ленточнопильных станках ЛСД-150 и ЛД 150-1Э привод осуществляется с помощью фрикционных колес. Возможны и другие варианты привода ленточнопильной пилы.

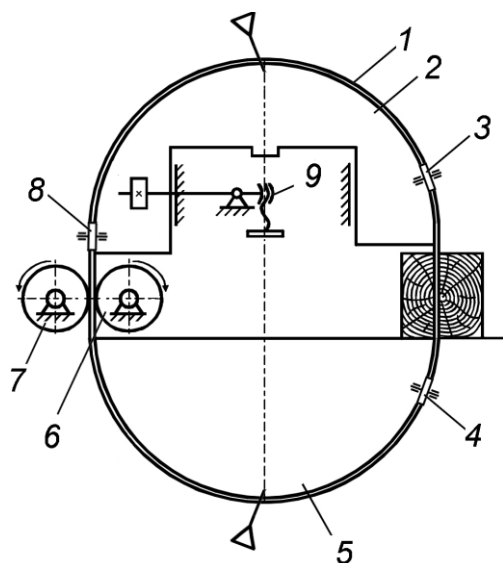


Рис. 5. Схема узла резания (вид сзади) ленточнопильного станка, защищенная а. с. № 17204458 [4]: 1 – ленточная пила; 2, 5 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 3, 4, 8 – ограничительные ролики; 6, 7 – приводные фрикционные колеса; 9 – механизм натяжения пилы

На рис. 6 показана конструкция узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от электродвигателя через ременную передачу.

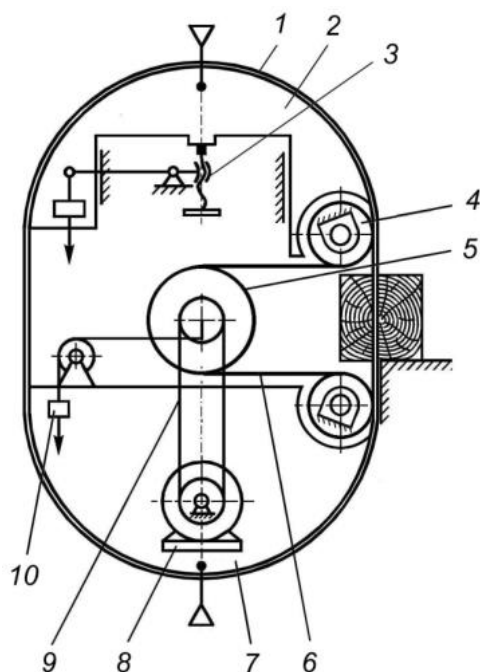


Рис. 6. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы приводным ремнем, защищенная а. с. № 949924 [2]: 1 – ленточная пила; 2, 7 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 4 – ролик; 5 – шкив; 6, 9 – ремни; 8 – электродвигатель; 10 – груз

Ленточная пила насажена на ремень, огибающий верхнюю и нижнюю криволинейные направляющие, опорные ролики и шкив, приводимый в движение от электродвигателя через ременную передачу. Натяжение пилы осуществляется с помощью механизма натяжения, натяжение приводного ремня – с помощью груза. Для уменьшения трения ремня о криволинейные направляющие к рабочим поверхностям последних подведен сжатый воздух, образующий аэроэстатические опоры. Пила на большой площади находится в контакте с ремнем

(например, синтетическим по ТУ 17-1245–74) и приводится в движение за счет силы трения.

На рис. 7 приведена конструкция узла резания ленточной пилы с приводом от линейного (дугостаторного) электродвигателя.

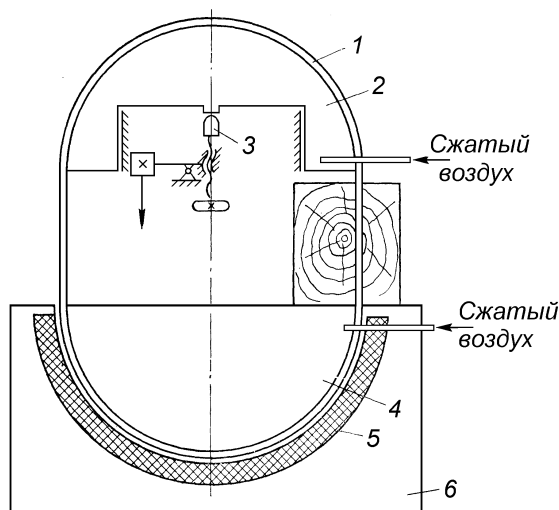


Рис. 7. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от линейного (дугостаторного) электродвигателя, защищенная а. с. № 818862 [1]: 1 – ленточная пила; 2, 4 – соответственно верхние и нижние криволинейные аэростатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 5 – обмотка статора; 6 – корпус статора

В конструкции этого узла резания ленточная пила надета на верхнюю и нижнюю криволинейные направляющие, рабочие поверхности которых выполнены в виде аэростатических опор. Привод пилы осуществляется с помощью линейного (дугостаторного) электродвигателя, обмотка которого уложена на внутренней цилиндрической поверхности статора, охватывающей нижнюю направляющую ленточной пилы. Достоинства такого станка:

- предельное уменьшение габаритных размеров и металлоемкости;
- упрощение конструкции (отсутствуют механические передачи, движется только режущий инструмент);
- магнитное поле статора отжимает пилу от аэростатических опор, образуя аэромагнитную опору.

Для эффективной работы привода пилы с помощью линейного электродвигателя материал пилы кроме упругих свойств должен обладать и электромагнитными. В техническом решении по а. с. № 1813630 [7] для повышения коэффициента полезного действия (КПД) привода и его надежной работы на поверхности ленточной пилы, обращенной к обмотке статора, рекомендуется выполнять фигурное углубление в виде «белчьего колеса», на которое необходимо наносить слой материала, обладающего высокими электромагнитными свойствами.

Недостатки привода ленточных пил по а. с. № 818862 [1] и а. с. № 1813630 [7]:

- разомкнутость магнитной цепи электродвигателя;
- наличие граничных эффектов, что уменьшает КПД привода и эффективность его работы; этот недостаток может быть устранен при использовании технического решения [11].

Конструкция узла резания ленточнопильного станка с приводом и линейным электродвигателем с замкнутой обмоткой статора показана на рис. 8.

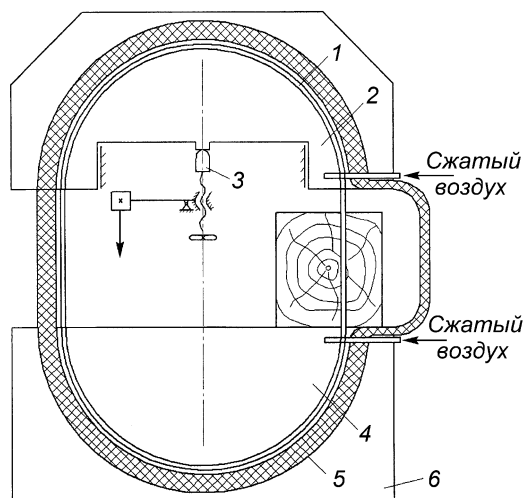


Рис. 8. Схема узла резания ленточнопильного станка с приводом ленточной пилы от линейного электродвигателя с замкнутой обмоткой статора, защищенная пат. № 2487013 [11]: 1 – ленточная пила; 2, 4 – соответственно верхняя и нижняя криволинейные аэроэстатические направляющие; 3 – механизм натяжения пилы; 5 – обмотка статора; 6 – корпус статора

Станок работает следующим образом. Ленточная пила, установленная на верхней и нижней направляющих, предварительно натягивается с помощью механизма натяжения. Для уменьшения трения между пилой и направляющими к рабочим поверхностям последних подается сжатый воздух, образуя аэроэстатические опоры. При подводе электроэнергии к линейному электродвигателю его обмотка создает бегущее магнитное поле, перемещающее ленточную пилу, которая является одновременно и ротором электродвигателя. При этом магнитное поле создает притяжение пилы к обмотке электродвигателя, что улучшает условия работы ленточной пилы и снижает расход сжатого воздуха. Использование замкнутой обмотки линейного электродвигателя большой протяженности позволяет повысить КПД электродвигателя и его тяговую способность.

Выводы

1. Предложенные варианты конструкций ленточнопильных станков с пилой, движущейся по криволинейным аэроэстатическим направляющим, имеют ряд существенных достоинств по сравнению с традиционными ленточнопильными станками с пильными шкивами.

2. В связи с тем, что разработанные нами технические решения обладают мировой новизной, необходимо продолжить исследовательские и конструкторские работы для совершенствования ленточного пиления древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 818862 СССР, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 2610721/29–15; заявл. 04.05.78; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13.
2. А. с. 949924 СССР, МПК В 27 В 13/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 2721970/29–15; заявл. 06.02.79; опубл. 30.08.83, Бюл. № 32.
3. А. с. 1230818 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф., Ходерян Б.А. № 3708295/29–15; заявл. 07.03.84; опубл. 15.05.86, Бюл. № 18.
4. А. с. 1724458 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4647705/15; заявл. 08.02.89; опубл. 07.04.92, Бюл. № 13.
5. А. с. 1731632 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4794628/15; заявл. 26.12.89; опубл. 07.05.92, Бюл. № 17.

6. А. с. 1813629 СССР, МПК В 27 В 13/10. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4918117/15; заявл. 11.03.91; опубл. 07.05.93, Бюл. № 17.
7. А. с. 1813630 СССР, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф. № 4701247/15; заявл. 03.05.89; опубл. 15.05.94, Бюл. № 9.
8. Грубе А.Э., Санев В.И. Основы теории расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 384 с.
9. Калитеевский Р.Е. Классификация бревнопильного оборудования и направления его совершенствования // Деревообраб. пром-сть. 2002. № 1. С. 9–11.
10. Микитишин З.В. Эффективность производства в деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 127 с.
11. Пат. 2487013 Российская Федерация, МПК В 27 В 15/00. Ленточнопильный станок / Прокофьев Г.Ф., Коряковская Н.В. № 2012106003/13; заявл. 20.02.2012; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19.
12. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.
13. Прокофьев Г.Ф. Определение параметров механизма привода пилы ленточнопильного станка с криволинейными аэростатическими направляющими // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 55–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Прокофьев Г.Ф. Направления совершенствования ленточнопильных станков // Лесн. журн. 1995. № 2-3. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
15. Прокофьев Г.Ф. Аэростатика вместо трения // Техника молодежи. 2011. № 6. С. 18–20.
16. Прокофьев Г.Ф., Иванкин И.И. Повышение эффективности пиления древесины на лесопильных рамах и ленточнопильных станках: моногр. / под ред. Г.Ф. Прокофьева. Архангельск: АГТУ, 2009. 380 с.
17. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 152 с.
18. Шилько В.К. Совершенствование двушквивных механизмов резания деревообрабатывающих ленточнопильных станков: дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2005. 279 с.
19. Kondratyuk A.A., Shilko V.K., Rudnev V.D. Estimation of Band Mill Traction Performances // Proc. 8th Korea-Russ. Intern. Symposium on Sci. Technology, KORUS 2004, June 26 – July 03, 2004. Tomsk, 2005. Vol. 3. Pp. 24–27.
20. Porter A.W. Some Engineering Considerations of High Strain Bandsaws // Forest Products Journal. 1971. Vol. 21(4). Pp. 24–32.
21. Prokofjev G.F., Dundin N.I., Ivankin I.I. Development of Sawing Machines // 14e seminaire international sur l'usinage du bois. Paris, 1999. Pp. 187–191.

Поступила 01.09.17

UDC 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

Design Development of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides[□]

G.F. Prokof'ev, Doctor of Engineering Sciences

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: g.prokofjev@narfu.ru

For citation: Prokof'ev G.F. Design Development of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 99–108. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.99

Band saws, which have found the wide application in sawmill due to the small width of cut, low surface roughness of saw-timbers and the possibility of sawing large diameter logs, have a number of drawbacks: low sawing accuracy at high cutting speeds, low durability of saws, large overall dimensions and metal capacity. Based on the developments and technical solutions, we present an experimental band saw with a saw, moving along curved guides, and their working surface is in the form of aerostatic bearings. The research has shown the undeniable advantages of the unit compared to traditional machines with saw blades: the sawing accuracy is greatly improved due to the reduction of the free length of the saw by a factor of 5-6 and balanced running and inertia of pulleys; durability of the saw increases 20 times and more; overall dimensions and metal consumption are reduced. The developed band saw with curvilinear aerostatic guides has the advantages, but we should continue its further improvement in two directions: improving the cutting unit to increase the rigidity and stability of the saw, and consequently, the sawing accuracy; modernization of the saw drive mechanism to improve the reliability of its operation. The paper presents some technical solutions for the band saw design with curvilinear aerostatic guides.

Keywords: band saw, curvilinear aerostatic guides, cutting unit, saw drive mechanism, linear electric motor, limiting roller.

REFERENCES

1. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 818862, 1981.
2. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 949924, 1983.
3. Prokof'ev G.F., Khoderyan B.A. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1230818, 1986.
4. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1724458, 1992.
5. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1731632, 1992.
6. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1813629, 1993.
7. Prokof'ev G.F. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Certificate of Authorship USSR, no. 1813630, 1994.
8. Grube A.E., Saney V.I. *Osnovy teorii rascheta derevoobrabatyvayushchikh stankov, mashin i avtomaticheskikh liniy* [Fundamentals of the Calculating Theory of Woodworking Machines, Machines and Automatic Lines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 384 p. (In Russ.)
9. Kaliteevskiy R.E. Klassifikatsiya brevnopil'nogo oborudovaniya i napravleniya ego sovershenstvovaniya [Classification of Sawmill Equipment and Directions of Its Improvement]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2002, no. 1, pp. 9–11.
10. Mikitishin Z.V. *Effektivnost' proizvodstva v derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Efficiency of Production in the Woodworking Industry]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 127 p. (In Russ.)
11. Prokof'ev G.F., Koryakovskaya N.V. *Lentochnopil'nyy stanok* [Band Saw]. Patent RF, no. 2487013, 2013.
12. Prokof'ev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Woodsawing by Frame and Band Saws]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 240 p. (In Russ.)
13. Prokof'ev G.F. *Opreделение параметров механизма привода пилы lentochnopil'nogo stanka s krivolineynymi aerostaticeskimi napravlyayushchimi* [Parameters Determination of the Saw Drive Mechanism of a Band Saw with Curvilinear Aerostatic Guides]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1991, no. 4, pp. 55–58.

14. Prokof'ev G.F. Napravleniya sovershenstvovaniya lentochnopil'nykh stankov [Directions for Improving Band Saws]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1995, no. 2-3, pp. 95–100.
15. Prokof'ev G.F. Aerostatika vmesto treniya [Aerostatics Instead of Friction]. *Tekhnika molodezhi*, 2011, no. 6, pp. 18–20.
16. Prokof'ev G.F., Ivankin I.I. Povyshenie effektivnosti pileniya drevesiny na lesopil'nykh ramakh i lentochno-pil'nykh stankakh: monogr. [Improving the Efficiency of Woodsawing on Sawmills and Band Saws]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2009. 380 p. (In Russ.)
17. Feoktistov A.E. *Lentochnopil'nye stanki* [Band Saw Machines]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 152 p. (In Russ.)
18. Shil'ko V.K. Sovershenstvovanie dvushkivnykh mekhanizmov rezaniya derevoobrabatyvayushchikh lentochnopil'nykh stankov: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Development of Double Sheaved Cutting Mechanisms for Woodworking Band Saws: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Tomsk, 2005. 279 p.
19. Kondratyuk A.A., Shilko V.K., Rudnev V.D. Estimation of Band Mill Traction Performances. *Proc. 8th Korea-Russ. Intern. Symposium on Sci. Technology, KORUS 2004, June 26 – July 03, 2004*. Tomsk, 2005, vol. 3, pp. 24–27.
20. Porter A.W. Some Engineering Considerations of High Strain Bandsaws. *Forest Products Journal*, 1971, vol. 21(4), pp. 24–32.
21. Prokof'ev G.F., Dundin N.I., Ivankin I.I. Development of Sawing Machines. *14e seminaire international sur l'usinage du bois*. Paris, 1999, pp. 187–191.

Received on September 01, 2017



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.816

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

**ЭКСТРАКЦИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ
ИЗ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ***А.В. Сафина, канд. техн. наук, доц.**Н.Ф. Тимербаев, д-р техн. наук, проф.**Д.Ф. Зиятдинова, д-р техн. наук, проф.**Г.Р. Арсланова, магистрант*

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: safin@kstu.ru,
cpekgeu@gmail.com, ziatdinova2804@gmail.com, 94arslanovagulshat@mail.ru

В настоящее время на лесозаготовительных предприятиях древесная зелень является отходом и не имеет полезного применения. Однако в ее состав входят компоненты, которые можно использовать в фармацевтической, пищевой и косметической промышленности. В данной статье рассматриваются способы и аппаратное оформление процессов экстрагирования ценных компонентов из зелени хвойных и лиственных пород, разработанных на кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета. В связи с тем, что древесная зелень, содержащая витамины и минералы, является сырьем для производства кормовой муки, нами была разработана и запатентована технология ее комплексной переработки с извлечением ценных компонентов водяным паром при температуре 165 °С. Готовыми продуктами, получаемыми с помощью данной технологии, являются кормовая мука и биологически активные вещества. Многие биологически активные вещества не устойчивы к высоким температурам, поэтому для их извлечения разработана установка переработки хвойного экстракта из древесной зеленой массы. Процесс происходит в цилиндрическом контейнере при температуре 40...50 °С, в качестве экстрагента используется перегретый пар, что обеспечивает максимальный выход биологически активных веществ. При экстракции количество экстрагента в несколько раз превышает количество сырья, в связи с этим предложена технологическая линия, которая позволяет применять его повторно. Основное оборудование данной линии: экстрактор, выпарные аппараты, конденсатор смешения, холодильная компрессорная установка и рекуперативный теплообменник. Представленные разработки позволяют рационально использовать лесосечные отходы с получением ценных компонентов и могут найти применение на предприятиях лесопромышленного комплекса.

Ключевые слова: экстракция, древесная зелень, экстрагент, эфирные масла, целлюлоза, автогидролиз, биологически активные вещества.

Введение

Лесосечные отходы содержат много ценных компонентов, среди которых эфирные масла, пигменты, витамины, микроэлементы, спирты, альдегиды, жирные кислоты, смолянистые вещества и т. д. Их извлечение осуществляется экстрагированием с помощью различных экстрагентов. Способы и аппаратное оформление процесса экстракции определяются свойствами извлекаемых компонентов.

Для цитирования: Сафина А.В., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 109–119. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

Вопросами сепарации веществ экстракционным методом занимались Голдовский А.М., Аксельруд Г.А., Лысянский В.М., Гурьянов А.И. [1, 6, 8, 15]. Извлечению полезных компонентов из биомассы дерева посвящены работы Ягодина В.И., Юдкевича Ю.Д., Славянского А.К., Репях С.М., Колесниковой Р.Д., Канарского А.В. [14, 18, 27, 31, 32].

Объекты и методы исследования

Первые результаты работ по экстрагированию компонентов из древесной зелени в Казанском национальном исследовательском технологическом университете (КНИТУ) были опубликованы в 2008 г. [4]. Они были посвящены переработке древесной зелени хвойных пород водяным паром при избыточном давлении. Исследования, проведенные А.Е. Ворониным [17, 29] позволили рекомендовать аппаратное оформление установки для получения хвойного экстракта [8, 17].

В отработанном сырье содержится много питательных веществ и витаминов, поэтому оно является ценным сырьем для производства кормовых добавок. В связи с этим была разработана и запатентована комплексная технология переработки древесной зелени (ДЗ) [19]. Схема установки для ее осуществления представлена на рис. 1.

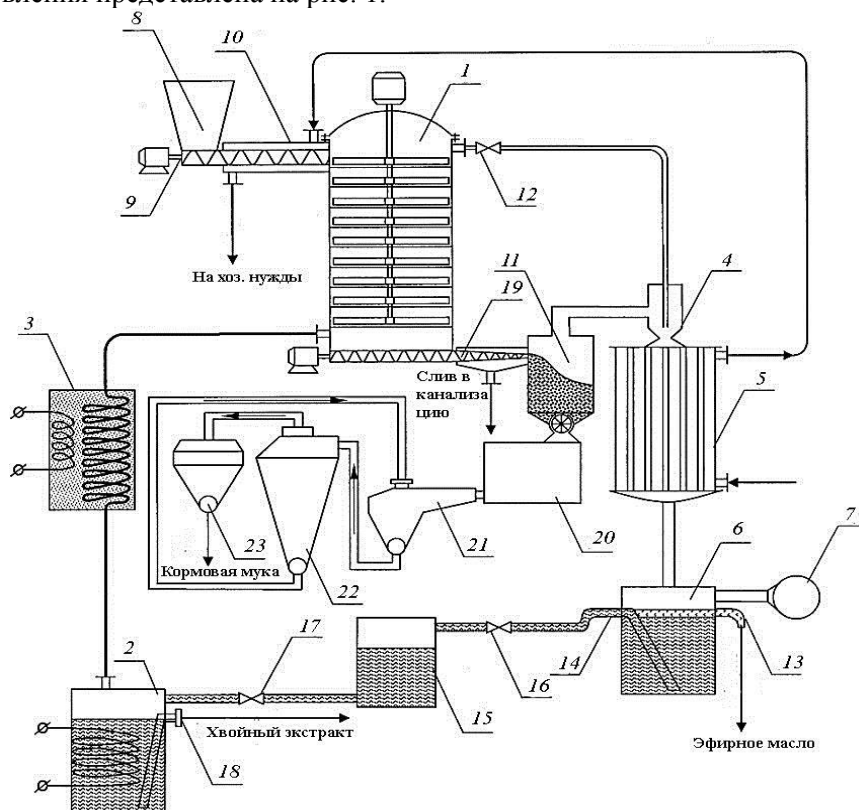


Рис. 1. Схема установки для комплексной переработки древесной зелени: 1 – тарельчатый экстрактор непрерывного типа; 2 – парогенератор; 3 – пароперегреватель; 4 – эжектор; 5 – конденсатор для отвода паров вскипания из буферного бункера с отработанной ДЗ; 6 – флорентина; 7 – вакуумный насос; 8 – загрузочная воронка; 9 – обогреваемое шнековое загрузочное устройство для подачи перерабатываемой ДЗ; 10 – рубашка загрузочного устройства; 11 – бункер отработанного сырья; 12, 16, 17 – вентили; 13, 14 – патрубки для отбора хвойного масла и флорентинной воды; 15 – бункер для флорентинной воды; 18 – патрубок для отбора хвойного экстракта; 19 – шнек-пресс для отжима и выгрузки отработанного сырья; 20 – сушилка кипящего слоя; 21 – измельчитель; 22 – воздушный сепаратор; 23 – дозатор готовой продукции

Установка, изображенная на рис. 1, работает следующим образом. ДЗ обрабатывается перегретым паром при давлении 0,4 МПа. Затем отработанное сырье сбрасывается в буферную емкость (бункер отработанного сырья) с атмосферным давлением. При этом оно за счет сброса давления разрыхляется и подсушивается. Окончательная сушка реализуется в сушилке кипящего слоя. После доизмельчения в ножевой мельнице (измельчителе) и сепарации в сепараторе полученная кормовая мука поступает на фасовку в дозатор. Флорентинная вода направляется в парогенератор, из которого сепарируется хвойный экстракт. Пар перед подачей в эжектор перегревается до 165 °С в пароперегревателе.

Результаты исследований по переработке ДЗ в этой установке были опубликованы ранее [3].

Поскольку хвоя представляет собой механически прочное гелеобразное тело с плотной оболочкой, то одним из путей интенсификации процесса извлечения ценных компонентов из нее является нарушение плотной оболочки измельчением и испарение заключенной в ней несвязанной жидкости. Конденсация испаренной жидкости позволяет получить экстракт высокой концентрации. Если при этом понижать остаточное давление среды и вести процесс при низких температурах, то появляется возможность сохранить многие биологически активные вещества и витамины. Для этого нами была разработана установка для получения хвойного экстракта из древесной зеленой массы (рис. 2), которая работает следующим образом.

Сырье в виде древесной зеленой массы загружается в бункер, откуда оно поступает в измельчитель. Измельченная хвойная древесная зеленая масса накапливается в буферной зоне контейнера, затем поступает в вакуумную зону. После заполнения вакуумной зоны древесной массой закрывается затвор 27 и включается вакуумный насос. Полые концентрические поверхности в вакуумной зоне нагреваются до температуры 40...50 °С. Биологически активные вещества из измельченной древесной зеленой массы, поступая в дополнительный холодильник, конденсируются и собираются в сборнике экстракта. После предварительного удаления части биологически активных веществ древесная зеленая масса направляется в экстракционную зону. После освобождения вакуумной зоны от древесной зеленой массы в нее загружается следующая порция из буферной зоны. В качестве экстрагента используется перегретый пар [18].

К экстракционным также можно отнести разработанные на кафедре переработки древесных материалов КНИТУ варианты модернизации процессов делигнификации древесины, при которых из древесной биомассы извлекаются все компоненты и остается лишь целлюлоза [7, 16, 20, 21, 33, 34]. Экстрагентом в этом случае является щелок, нагретый до температуры 165...175 °С. Процесс экстракции (варки) длится 4,0...4,5 ч. В результате из древесины получается рафинат (целлюлоза), экстракт идет на регенерацию в содорегенерационные котлы сжигания [39, 41, 42]. Дальнейшее совершенствование технологии делигнификации древесины отражено в публикациях Д.Ш. Гайнуллиной [5, 10, 25, 26].

Другим примером экстракционных процессов в деревопереработке являются процессы автогидролиза [9, 22, 35], применяемые для получения технической целлюлозы. Результаты исследований [11–13] по совершенствованию технологии процесса экстрактирования высокотемпературной паровзрывной обработкой обобщены в работах Д.Б. Просвирникова [24, 28, 38, 40].

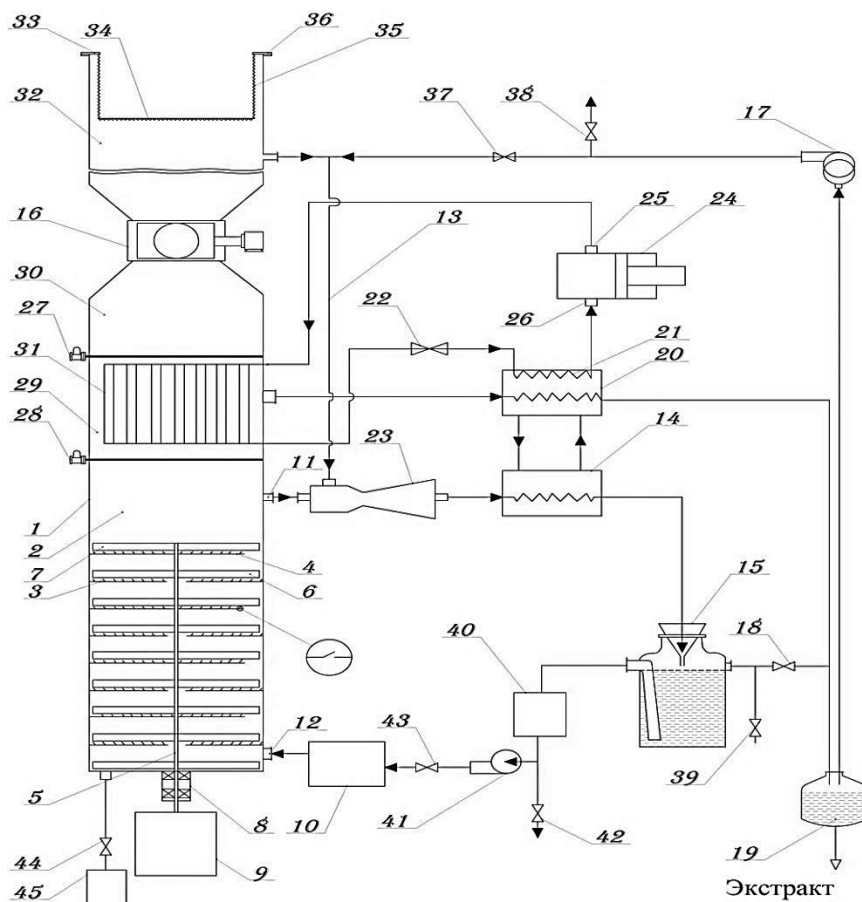


Рис. 2. Схема установки для получения хвойного экстракта из древесной зеленой массы: 1 – герметичный цилиндрический контейнер; 2 – экстракционная зона контейнера; 3, 4 – четные и нечетные перфорированные тарелки, установленные в нижней части зоны (выгрузочные отверстия в нечетных тарелках расположены на периферии и имеют форму сектора, в четных – в центре); 5 – ротор; 6, 7 – прикрепленные к ротору соответственно четные и нечетные лопастные мешалки S-образной формы, направленные в противоположные стороны; 8 – подшипниковый узел; 9 – привод; 10 – паровой котел для подачи пара в контейнер; 11–13 – паропроводы; 14 – кожухотрубчатый холодильник; 15 – флорентина; 16 – измельчитель; 17 – вакуумный насос; 18 – вентиль; 19 – сборник экстракта; 20 – дополнительный холодильник; 21 – испаритель, помещенный в кожух холодильника; 22 – дросселирующее устройство; 23 – эжектор; 24 – компрессор; 25, 26 – нагнетающие и всасывающие патрубки компрессора; 27, 28 – затворы; 29, 30 – вакуумная и буферная зоны контейнера; 31 – полые концентрические поверхности вакуумной зоны; 32 – бункер загрузочного устройства; 33 – крышка; 34 – диск; 35 – гофрированный газонепроницаемый рукав; 36 – фланцевое соединение для крепления крышки к бункеру; 37, 38, 39, 42–44 – вентили; 40 – емкость флорентинной воды; 41 – насос; 45 – сборник

В настоящее время популярным становится выделение из древесины биологически активных веществ [2, 18, 30, 36, 37], состав которых зависит от породы дерева. Все многообразие биологически активных веществ может быть разделено на вещества, выделяемые органическими растворителями (эфир, спирт и т. д.) и водой [23, 33, 38, 40, 43]. Выход биологически активных

веществ зависит от возраста дерева и времени года. При экстрагировании количество экстрагента в несколько раз превышает количество древесного сырья, поэтому актуален вопрос регенерации отработанного экстрагента.

В связи с этим была разработана технологическая линия процесса экстракции древесного сырья с одновременной регенерацией отработанного экстрагента (рис. 3).

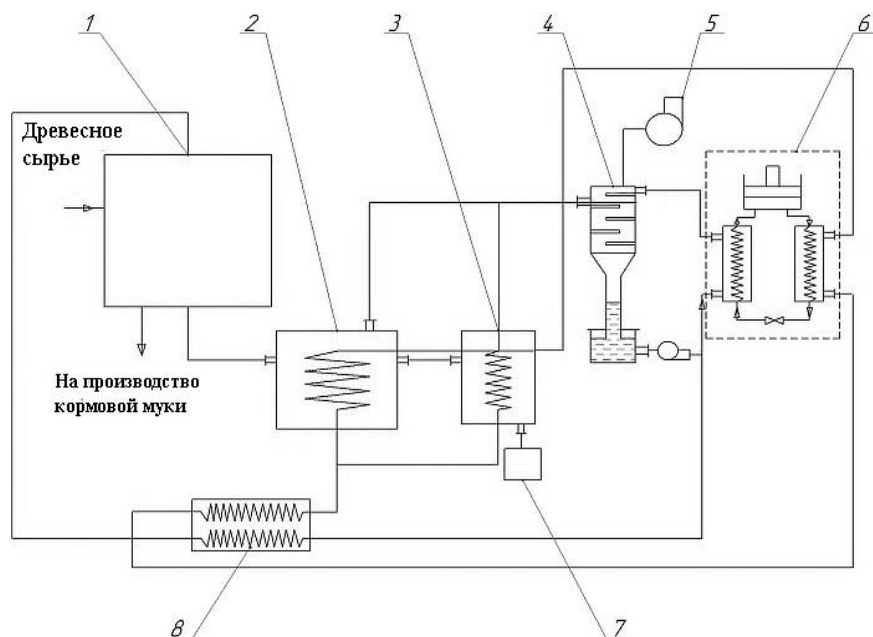


Рис. 3. Схема технологической линии процесса экстракции биологически активных веществ из древесины: 1 – экстрактор; 2, 3 – выпарные аппараты; 4 – конденсатор смешения; 5 – насос; 6 – компрессорная установка; 7 – сборник; 8 – рекуперативный теплообменник

Установка, приведенная на рис. 3, работает следующим образом.

В экстрактор загружается древесное сырье и экстрагент (этиловый спирт). Полученный экстракт выпаривается в две стадии: на первой – процесс происходит в выпарном аппарате под разрежением, которое создает конденсатор смешения, на второй – экстракт окончательно выпаривается в выпарном аппарате и собирается в сборнике. Одна часть паровой среды, удаленной и сконденсированной в конденсаторе смешения, с помощью компрессорной установки передает свое тепло на обогрев выпарных аппаратов, оставшаяся часть в качестве экстрагента подается через рекуперативный теплообменник на рециркуляцию в экстрактор с помощью насоса.

Заключение

Представленные разработки могут найти широкое применение на предприятиях лесопромышленного комплекса для извлечения ценных компонентов из древесной зелени и организации малотоннажных производств новых видов продукции. Развитие данных научных направлений и приведенных конструкций экстракционных аппаратов будет способствовать получению полезных веществ, необходимых в различных отраслях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксельруд Г.А., Лысянский В.М. Экстрагирование. Система твердое тело–жидкость. Л.: Химия, 1974. 256 с.
2. Арсланова Г.Р., Альмухаметов Р.С., Шакиров А.Р. Получение биологически активных веществ из древесины осины методом экстракции. Воронеж: ВГУИТ, 2016. 624 с.
3. Воронин А.Е. Установка для экстракции древесной зелени хвойных пород // Материалы междунар. форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI в.». Харьков, 2008. 137 с.
4. Воронин А.Е. Переработка древесной зелени хвойных пород водяным паром в среде избыточного давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 16 с.
5. Гайнуллина Д.Ш. Разработка технологии делигнификации активированной древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2015. 16 с.
6. Голодовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.
7. Гребинский С.О. Биохимия растений. Львов: Львов. ун-т, 1975. 278 с.
8. Гурьянов А.И. Моделирование и конструирование колонных интенсифицированных экстракторов на основе структурного подхода: автофер. дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 1996. 32 с.
9. Зиятдинова Д.Ф., Просвирников Д.Б., Сафин Р.Г., Байгильдеева Е.И. Комплексная переработка древесных отходов паровзрывным методом в аппарате высокого давления // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 2. С. 124–131.
10. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Гайнуллина Д.Ш. Гипотетическая схема процессов физико-химической переработки древесных материалов, сопровождающихся выбросами вредных веществ в атмосферу // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 6. С. 43–46.
11. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Извлечение примесей из древесноволокнистой массы, полученной при обработке лигноцеллюлозного материала высокотемпературным паровзрывным автогидролизом // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 70–77.
12. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Исследование влияния высокотемпературной обработки на свойства продуктов, полученных методом паровзрывного гидролиза лигноцеллюлозного материала // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 58–66.
13. Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Разработка опытно-промышленной установки для разделения лигноцеллюлозного материала на компоненты методом высокотемпературного парового гидролиза // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2011. № 12. С. 93–101.
14. Колесникова Р.Д., Тагильцев Ю.Г. Эфирные масла дальневосточных древесных растений. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1999. 288 с.
15. Лысянский В.М. Процесс экстракции сахара из свеклы. Теория и расчет. М.: Пищевая пром-сть, 1973. 224 с.
16. Пат. 2143044 Российская Федерация, МПК D 21 B 1/00, D 21 B 1/12. Реактор для непрерывного автогидролиза / Сафин Р.Г., Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Валиев Ф.Г., Просвирников Д.Б., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е. Опубл. 27.02.2011, Бюл. № 6.
17. Пат. 2351642 Российская Федерация, МПК⁷ C 11 D 9/02. Установка для получения хвойного экстракта / Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Башкиров В.Н., Воронин Е.К., Тимербаев Н.Ф., Ахметова Д.А., Зиятдинова Д.Ф. Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
18. Пат. 2391408 Российская Федерация, МПК C 12 Q 1/25. Способ получения экстракта из растений рода *salix* / Каптина А.В., Канарский А.В., Шургин А.В. и др. Опубл. 10.06.2010, Бюл. № 22.

19. Пат. 2404238 Российская Федерация, МПК С 11 В 9/02. Способ комплексной переработки древесной зелени / Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Воронин Е.К., Кайнов П.А., Тимербаев Н.Ф., Зиятдинова Д.Ф. Оpubл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
20. Пат. 2425917 Российская Федерация, МПК D 21 С 3/02, D 21 С 11/06, В 01 D 53/48, В 01 D 53/52. Способ получения сульфатной целлюлозы / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Просвириков Д.Б. и др. Оpubл. 10.08.2011, Бюл. № 22.
21. Пат. 2437972 Российская Федерация, МПК D 21 С 3/02, D 21 С 3/26, D 21 С 11/00, D 21 С 11/04, D 21 С 11/06. Способ получения сульфатной целлюлозы / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Просвириков Д.Б. и др. Оpubл. 27.12.2011, Бюл. № 36.
22. Пат. 2464367 Российская Федерация, МПК D 21 В 1/36. Установка для получения технической целлюлозы взрывным методом / Зиятдинова Д.Ф., Сафин Р.Г., Просвириков Д.Б. и др. Оpubл. 20.10.2012, Бюл. № 29.
23. Пономарев В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М.: Медицина, 1976. 202 с.
24. Просвириков Д.Б. Совершенствование техники и технологии процесса высокотемпературной паровзрывной обработки древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 16 с.
25. Просвириков Д.Б., Ахметшин И.Р., Гайнуллина Д.Ш., Просвирикова Т.Д. Способы получения и области применения порошковой целлюлозы // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 17. С. 109–112.
26. Просвириков Д.Б., Ахметшин И.Р., Гайнуллина Д.Ш., Просвирикова Т.Д. Разработка аппаратного оформления технологии непрерывного получения порошковой целлюлозы // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 11. С. 156–159.
27. Репях С.М., Рубчевская Л.П. Химия и технология переработки древесной зелени. Красноярск: КГТА, 1994. 320 с.
28. Салдаев В.А., Просвириков Д.Б. Конструкция гидрозатвора в реакторе для паровзрывной обработки лигноцеллюлозного материала // Материалы 3-й Всерос. студен. науч.-техн. конф. «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология». Казань, 2012. С. 96–97.
29. Сафин Р.Р., Воронин А.Е., Разумов Е.Ю. Установка для переработки отходов древесных производств // Вопр. соврем. науки и практики. 2009. № 5(19). С. 82–86.
30. Турецкова В.Ф., Лобанова И.Ю., Рассипова С.С., Таликова Н.М. Осина обыкновенная как перспективный источник получения препаратов противоязвенного и противовоспалительного действия // Бюл. сибирской медицины. 2011. Т. 10, № 5. 340 с.
31. Юдкевич Ю.Д., Васильев С.Н., Ягодин В.И. Получение химических продуктов из древесных отходов. СПб.: СПбЛТА, 2002. 84 с.
32. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. Л.: ЛГУ, 1981. 244 с.
33. Al-Dajani W.W., Tschiner U.W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction // Tappi J. 2008. Vol. 7, iss. 6. Pp. 3–8.
34. Dietrich F., ed. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin; New York, Walter de Gruyter Publ., 1989. 613 p.
35. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions // Wood Research. 2012. Vol. 57, no. 4. Pp. 505–514.
36. Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and Its Possible Uses. Res. Note FPL; 091, 1971. 56 p.
37. Krasutsky P.A. Birch Bark Research and Development // Natural Product Reports. 2006. Vol. 23, no. 6. Pp. 919–942.
38. Liu Sh. Woody Biomass: Niche Position as a Source of Sustainable Renewable Chemicals and Energy and Kinetics of Hot-Water Extraction/Hydrolysis // Biotechnology Advances. 2010. Vol. 28, iss. 5. Pp. 563–582.

39. Mosier N., Wyman Ch., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass // *Biore-source Technology*. 2005. Vol. 96, iss. 6. Pp. 673–686.
40. Heiska S. The Yield and Cultivation Reliability of Herbal Willow: PhD Diss. Biology (PDF). Joensuu, Finland, 2007. 88 p.
41. Van Oijen D., Feijen M., Hommel P., den Ouden J., de Waal R. Effects of Tree Species Composition on Within-Forest Distribution of Understorey Species // *Applied Vegetation Science*. 2005. Vol. 8, iss. 2. Pp. 155–166.
42. Vakkilainen E. Chemical Recovery // *Chemical Pulping – Papermaking Science Technology*. Book 6B / Ed. by J. Gullichsen, C.-J. Fogelholm. Helsinki, Finland: Fapet Oy and Tappi Press, 1999. Ch. 11. 247 p.
43. Whigham D.F. Ecology of Woodland Herbs in Temperate Deciduous Forests // *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 2004. Vol. 35. Pp. 583–621.

Поступила 04.10.17

UDC 674.816

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

Extraction of Valuable Components from Forest Residues

A.V. Safina, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

N.F. Timerbaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

D.F. Ziatdinova, Doctor of Engineering Sciences, Professor

G.R. Arslanova, Graduate Student

Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: safin@kstu.ru, cpekgeu@gmail.com, ziatdinova2804@gmail.com, 94arslanovagulshat@mail.ru

Currently, woody green is a waste and has no useful application in forestry enterprises. However, it includes components that can be used in the pharmaceutical, food and cosmetic industries. The paper discusses the methods and hardware design of extracting valuable components from green of coniferous and hardwood species developed at the Department of Wood Materials Processing at the Kazan National Research Technological University. Since woody green containing vitamins and minerals is a raw material for the production of feed flour, we have developed and patented the technology of its complex processing with the extraction of valuable components by water steam at a temperature of 165 °C. Feed flour and bioactive substances are the finished products obtained with the help of this technology. Many bioactive substances are not resistant to high temperatures; therefore, for the qualitative extraction of them, a plant for processing coniferous extract from woody green mass has been developed. The process takes place in a cylindrical container at a temperature of 40...50 °C, with the use of superheated steam as an extractant. This temperature range provides the maximum yield of bioactive substances. When extracting, the amount of extractant is several times higher than the amount of raw materials. In this connection, we propose a processing line that allows reusing the spent extractant. The main equipment of this line is the extractor, evaporators, mixing condenser, refrigerating compressor unit and recuperative heat exchanger. The presented development allows the rational use of forest residues with obtaining of valuable components. This technology can be applied at the enterprises of the forest industry complex.

Keywords: extraction, woody green, extractant, essential oil, pulp, autohydrolysis, bioactive substance.

For citation: Safina A.V., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F., Arslanova G.R. Extraction of Valuable Components from Forest Residues. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 109–119. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.109

REFERENCES

1. Aksel'rud G.A., Lysyanskiy V.M. *Ekstragirovanie. Sistema tverdoe telo – zhidkost'* [Extraction. The Solid-Liquid System]. Leningrad, Khimiya Publ., 1974. 256 p. (In Russ.)
2. Arslanova G.R., Al'mukhametov R.C., Shakirov A.R. *Poluchenie biologicheskikh aktivnykh veshchestv iz drevesiny osiny metodom ekstraktsii* [Preparation of Bioactive Substances from Aspen Wood by the Extraction Method]. Voronezh, VSUET Publ., 2016. 624 p. (In Russ.)
3. Voronin A.E. Ustanovka dlya ekstraktsii drevesnoy zeleni khvoynykh porod [Plant for the Woody Green Extraction of Coniferous Species]. *Materialy mezhdunar. foruma molodezhi «Molodezh' i sel'skokhozyaystvennaya tekhnika v XXI v.»* [Proc. Intern. Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the 21st Century"]. Kharkiv, 2008. 137 p. (In Russ.)
4. Voronin A.E. *Pererabotka drevesnoy zeleni khvoynykh porod vodyanym parom v srede izbytochnogo davleniya*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Processing of Woody Green of Coniferous Species by Water Vapor in an Excess Pressure Environment: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2013. 16 p.
5. Gaynullina D.Sh. *Razrabotka tekhnologii delignifikatsii aktivirovannoy drevesiny*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of the Delignification Technology of Activated Wood: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2015. 16 p.
6. Golodovskiy A.M. *Teoreticheskie osnovy proizvodstva rastitel'nykh masel* [Theoretical Bases of Vegetable Oils Production]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1958. 446 p. (In Russ.)
7. Grebinskiy S.O. *Biokhimiya rasteniy* [Phytochemistry]. Lviv, Lviv University Publ., 1975. 278 p. (In Russ.)
8. Gur'yanov A.I. *Modelirovanie i konstruirovaniye kolonnykh intensivitsirovannykh ekstraktorov na osnove strukturnogo podkhoda*: avtofer. dis. ... d-ra tekhn. nauk [Modeling and Design of Column Intensified Extractors Based on the Structural Approach: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 1996. 32 p.
9. Ziatdinova D.F., Prosvirnikov D.B., Safin R.G., Baygil'deeva E.I. Kompleksnaya pererabotka drevesnykh otkhodov parovzryvnym metodom v apparate vysokogo davleniya [Complex Processing of Wood Wastes by the Steam-Explosion Method in a High-Pressure Apparatus]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 2, pp. 124–131.
10. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Gaynullina D.Sh. Gipoteticheskaya skhema protsessov fiziko-khimicheskoy pererabotki drevesnykh materialov, soprovozhdayushchikhsya vybrosami vrednykh veshchestv v atmosferu [Hypothetical Scheme of Physical and Chemical Processing of Wood Materials, Accompanied by Harmful Substances Emissions into the Atmosphere]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 6, pp. 43–45.
11. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Izvlechenie primesey iz drevesnovoloknistoy massy, poluchennoy pri obrabotke lignotsellyuloznogo materiala vysokotemperaturnym parovzryvnym avtogidrolizom [Extraction of Impurities from Wood-Fiber Pulp Obtained by Lignocellulosic Material Processing with High-Temperature Steam-Explosion Auto-Hydrolysis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 70–77.
12. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Issledovanie vliyaniya vysokotemperaturnoy obrabotki na svoystva produktov, poluchennykh metodom parovzryvnogo gidroliza lignotsellyuloznogo materiala [Investigation of the Influence of High-Temperature Treatment on the Properties of Products Obtained by the Steam-Explosion Hydrolysis of Lignocellulosic Material]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 58–66.
13. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. Razrabotka opytno-promyshlennoy ustanovki dlya razdeleniya lignotsellyuloznogo materiala na komponenty

metodom vysokotemperaturnogo parovogo gidroliza [Development of a Pilot Plant for Separating Lignocellulosic Material into Components by High-Temperature Steam Hydrolysis]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2011, no. 12, pp. 93–101.

14. Kolesnikova R.D., Tagil'tsev Yu.G. *Efirnye masla dal'nevostochnykh drevesnykh rasteniy* [Essential Oils of Far Eastern Woody Plants]. Khabarovsk, Far East For. Res. Inst. Publ., 1999. 288 p. (In Russ.)

15. Lysyanskiy V.M. *Protsess ekstraksii sakhara iz svekly. Teoriya i raschet* [The Extracting Process of Sugar from Beet. Theory and Calculation]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1973. 224 p. (In Russ.)

16. Safin R.G., Ziatdinova D.F., Safin R.R., Razumov E.Yu., Timerbaev N.F., Valiev F.G., Prosvirnikov D.B., Kaynov P.A., Khasanshin R.R., Voronin A.E. *Reaktor dlya nepreryvnogo avtogidroliza* [Reactor for Continuous Autohydrolysis]. Patent RF, no. 2143044, 2011.

17. Safin R.R., Voronin A.E., Safin R.G., Bashkirov V.N., Voronin E.K., Timerbaev N.F., Akhmetova D.A., Ziatdinova D.F. *Ustanovka dlya polucheniya khvoynogo ekstrakta* [Plant for Coniferous Extract Production]. Patent RF, no. 2351642, 2009.

18. Kaptina A.V., Kanarskiy A.V., Shurgin A.V. et al. *Sposob polucheniya ekstrakta iz rasteniy roda salix* [The Method of Extract Production from Plants of the Genus *Salix*]. Patent RF, no. 2391408, 2010.

19. Safin R.R., Voronin A.E., Safin R.G., Razumov E.Yu., Voronin E.K., Kaynov P.A., Timerbaev N.F., Ziatdinova D.F. *Sposob kompleksnoy pererabotki drevesnoy zeleni* [The Method for Complex Processing of Woody Green]. Patent RF, no. 2404238, 2010.

20. Safin R.R., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Sposob polucheniya sul'fatnoy tsellyulozy* [The Method of Sulfate Cellulose Production]. Patent RF, no. 2425917, 2011.

21. Safin R.R., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Sposob polucheniya sul'fatnoy tsellyulozy* [The Method of Sulfate Cellulose Production]. Patent RF, no. 2437972, 2011.

22. Ziatdinova D.F., Safin R.G., Prosvirnikov D.B. et al. *Ustanovka dlya polucheniya tekhnicheskoy tsellyulozy vzryvnym metodom* [Plant for the Technical Pulp Production by the Explosive Method]. Patent RF, no. 2464367, 2012.

23. Ponomarev V.D. *Ekstragirovanie lekarstvennogo syr'ya* [Extraction of Drug Raw Materials]. Moscow, Meditsina Publ., 1976. 202 p. (In Russ.)

24. Prosvirnikov D.B. *Sovershenstvovanie tekhniki i tekhnologii protsessa vysokotemperaturnoy parovzryvnoy obrabotki drevesnykh otkhodov*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Technological Advancement of the Process of High-Temperature Steam and Explosive Treatment of Wood Waste: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Kazan, 2013. 16 p.

25. Prosvirnikov D.B., Akhmetshin I.R., Gaynullina D.Sh., Prosvirnikova T.D. *Sposoby polucheniya i oblasti primeneniya poroshkovoy tsellyulozy* [Methods of Production and Application of Powdered Cellulose]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 17, pp. 109–112.

26. Prosvirnikov D.B., Akhmetshin I.R., Gaynullina D.Sh., Prosvirnikova T.D. *Razrabotka apparaturnogo oformleniya tekhnologii nepreryvnogo polucheniya poroshkovoy tsellyulozy* [Development of Hardware Design for the Continuous Production Technology of Powdered Cellulose]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 11, pp. 156–159.

27. Repyakh S.M., Rubchevskaya L.P. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki drevesnoy zeleni* [Chemistry and Technology of Woody Green Processing]. Krasnoyarsk, KSEA Publ., 1994. 320 p. (In Russ.)

28. Saldaev V.A., Prosvirnikov D.B. *Konstruktsiya gidrozatvora v reaktore dlya parovzryvnoy obrabotki lignotsellyuloznogo materiala* [The Design of the Hydraulic Lock in the Reactor for the Steam-Explosion Treatment of Lignocellulosic Material]. *Materialy 3-y Vseros. stud. nauch.-tekhn. konf. «Intensifikatsiya teplo-massoobmennyykh protsessov, promyshlennaya bezopasnost' i ekologiya»* [Proc. 3rd All-Russ. Student Sci. Eng. Conf. "Intensification of Heat-Mass-Exchange Processes, Industrial Safety and Ecology"]. Kazan, 2012, pp. 96–97. (In Russ.)

29. Safin R.R., Voronin A.E., Razumov E.Yu. Ustanovka dlya pererabotki otkhodov drevesnykh proizvodstv [Wood Waste Processor]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University], 2009, vol. 19, no. 5, pp. 82–86.

30. Turetskova V.F., Lobanova I.Yu., Rassypnova S.S., Talykova N.M. Osina obyknovennaya kak perspektivnyy istochnik polucheniya preparatov protivoyazvennogo i protivovospalitel'nogo deystviya [*Populus tremula* L. as a Perspective Source of Preparations Antiulcerous and Anti-Inflammatory Activity]. *Byulleten' sibirskoy meditsiny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2011, vol. 10, no. 5, pp. 106–111.

31. Yudkevich Yu.D., Vasil'ev S.N., Yagodin V.I. *Poluchenie khimicheskikh produktov iz drevesnykh otkhodov* [Chemical Products Production from Wood Waste]. Saint Petersburg, SPbFTA Publ., 2002. 84 p. (In Russ.)

32. Yagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoy zeleni* [Fundamentals of Chemistry and Technology of Woody Green Processing]. Leningrad, LSU Publ., 1981. 244 p. (In Russ.)

33. Al-Dajani W.W., Tschiner U.W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction. *Tappi J.*, 2008, vol. 7, iss. 6, pp. 3–8.

34. Dietrich F., ed. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin; New York, Walter de Gruyter Publ., 1989. 613 p.

35. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions. *Wood Research*, 2012, vol. 57, no. 4, pp. 505–514.

36. Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and Its Possible Uses. *Res. Note FPL*; 091, 1971. 56 p.

37. Krasutsky P.A. Birch Bark Research and Development. *Natural Product Reports*, 2006, vol. 23, no. 6, pp. 919–942.

38. Liu Sh. Woody Biomass: Niche Position as a Source of Sustainable Renewable Chemicals and Energy and Kinetics of Hot-Water Extraction/Hydrolysis. *Biotechnology Advances*, 2010, vol. 28, iss. 5, pp. 563–582.

39. Mosier N., Wyman Ch., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. Features of Promising Technologies for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Biore-source Technology*, 2005, vol. 96, iss. 6, pp. 673–686.

40. Heiska S. *The Yield and Cultivation Reliability of Herbal Willow*: PhD Diss. Biology (PDF). Joensuu, Finland, 2007. 88 p.

41. Van Oijen D., Feijen M., Hommel P., den Ouden J., de Waal R. Effects of Tree Species Composition on Within-Forest Distribution of Understorey Species. *Applied Vegetation Science*, 2005, vol. 8, iss. 2, pp. 155–166.

42. Vakkilainen E. Chemical Recovery. *Chemical Pulping – Papermaking Science Technology. Book 6B*. Ed. by J. Gullichsen, C.-J. Fogelholm. Helsinki, Finland, Fapet Oy and Tappi Press, 1999, ch. 11. 247 p.

43. Whigham D.F. Ecology of Woodland Herbs in Temperate Deciduous Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 2004, vol. 35, pp. 583–621.

Received on October 04, 2017

УДК 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ СЕПАРАТОРНОЙ БУМАГИ
ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ВПИТЫВАЮЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ***Н.В. Щербак¹, канд. техн. наук, доц.**Е.В. Дубовой², инж.**М.А. Лоренгель², асп.**А.С. Смолин², д-р техн. наук, проф.*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru²Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com, smolin@gturp.spb.ru

Исследовано влияние стеклянных волокон разных марок и мерсеризованной целлюлозы в композиции сепараторной бумаги для аппаратов охлаждения воздуха на прочность при растяжении и капиллярную впитываемость. На первом этапе проведена оценка изменения этих показателей при варьировании доли стеклянных волокон, отличающихся номинальным диаметром (0,1; 0,25; 0,4; 0,6 мкм). В лабораторных условиях получены одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные образцы. Содержание волокон в композиции варьировали в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 20 %. Установлено, что уровень прочности всех полученных образцов низкий, не превышает 1,2 МПа. Показана возможность повышения прочности при растяжении путем снижения доли стеклянных волокон с номинальным диаметром 0,6 мкм. Для получения максимальной прочности доля волокон с номинальным диаметром более 0,4 мкм не должна превышать 20 %. Выявлена значимая корреляция между пределом прочности при растяжении и капиллярной впитываемостью образцов из стеклянных волокон независимо от их номинального диаметра. Максимальное повышение прочности при растяжении приводит к снижению на 30 % капиллярной впитываемости сепараторной бумаги. На втором этапе изучено влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на изменение прочности и капиллярной впитываемости сепараторной бумаги. Выявлено поступательное повышение прочности сепараторной бумаги при добавке мерсеризованной целлюлозы в композицию стекловолокна номинальным диаметром 0,25 мкм. Например, добавка 20 % мерсеризованной целлюлозы приводит к росту прочности образцов в 2 раза при снижении капиллярной впитываемости на 30 %. Увеличение прочности при сохранении капиллярной впитываемости на требуемом уровне возможно при добавке мерсеризованной целлюлозы не более 10 %. Результат проведенных исследований позволяет направленно регулировать композицию по волокну для получения сепараторной бумаги с уровнем свойств, необходимым для изготовления испарительных элементов в аппаратах охлаждения воздуха.

Ключевые слова: стеклянное волокно, сепараторная бумага, мерсеризованная целлюлоза, предел прочности при растяжении, капиллярная впитываемость.

Для цитирования: Щербак Н.В., Дубовой Е.В., Лоренгель М.А., Смолин А.С. Моделирование композиции сепараторной бумаги из минерального и растительного сырья для повышения прочности и впитывающей способности // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 120–129. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

Введение

Глобальное потепление, происходящее в последние десятилетия, ставит перед человечеством задачи, связанные с разработкой инновационных энерго-сберегающих экологически безопасных технологий охлаждения воздуха для обеспечения нормальных условий работы и отдыха людей, а также эксплуатации оборудования.

Современные требования к технологиям охлаждения воздуха: возможность широкомасштабного, массового применения устройств охлаждения; организация работы по энергосберегающему режиму; экологическая безопасность; улучшение качества вырабатываемого охладителями воздуха.

Изучение этих требований со всей очевидностью показывает, что удовлетворяют им только охладители, использующие не обычный цикл тепловой машины (обратный термодинамический цикл, характерный, например, для фреоновых кондиционеров), а природные источники холода. Наиболее удобной формой «природного потенциала охлаждения» является поглощение тепла при испарении воды, что, прежде всего, связано с исключительно высоким значением скрытой теплоты испарения, общедоступностью и экологической безопасностью этого вещества. Особенность данной технологии, отличающей ее от близких с технологической точки зрения подходов, – пластинчатая конструкция тепломассообменных аппаратов без применения верхнего полива (орошения) испаряющей поверхности [15, 16]. В связи с этим появилась необходимость создания принципиально нового капиллярно-пористого материала, обладающего качественно более высоким уровнем эксплуатационных свойств [20].

Одним из перспективных микропористых материалов для картриджей в аппаратах охлаждения воздуха прямым испарением воды является бумага на основе стеклянных волокон. Основные требования, предъявляемые к этому материалу: высокая капиллярная впитываемость и необходимая механическая прочность при сохранении водо- и биостойкости.

Сепараторная бумага из штапельных стеклянных волокон разных марок характеризуется невысокой прочностью [1–3, 9–12, 14], но, чтобы ее использовать в качестве высокопористых испарительных элементов в аппаратах охлаждения воздуха, необходимо найти оптимальную композицию бумаги по волокну, обеспечивающую достаточную прочность и максимально возможную капиллярную впитываемость.

Цель работы – установление закономерностей влияния варьирования содержания стеклянных волокон разных марок и мерсеризованной целлюлозы на прочность при растяжении и капиллярную впитываемость сепараторной бумаги.

Объекты и методы исследования

Работы проводили на оборудовании инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. На основе анализа ранее полученных данных о влиянии диаметра стеклянных волокон на свойства бумагоподобных композиционных материалов [4, 8, 10, 13], на первом этапе была составлена схема изменения композиционного состава с использованием стеклянных волокон четырех марок: НТВ-0,1– нанотонкие (номинальный диаметр 0,1 мкм); МТВ-0,25 и МТВ-0,4 – микротонкие

(соответственно 0,25 и 0,4 мкм); УТВ-0,6 – ультратонкие (0,6 мкм). Содержание в композиции волокна одной марки варьировали от 0 до 100 % с шагом 20 %. Режим проклейки – постоянный; связующее – сернокислый алюминий (рН 7,5...8,0, расход – 20 %).

На втором этапе эксперимента добавляли в композицию до 30 % мерсеризованной хвойной небеленой целлюлозы*. Образцы сепараторной бумаги массой (100 ± 5) г/м² изготавливали в лабораторных условиях на динамическом листоотливном аппарате, позволяющем получать анизотропную структуру, аналогичную структуре бумаг промышленного изготовления. Показатели качества оценивали по стандартным методикам [4, 5, 17].

Результаты исследования и их обсуждение

Сепараторная бумага используется в испарительных элементах, эффективность работы которых определяется степенью их увлажнения за счет подъема воды по капиллярно-пористой структуре. Поэтому основным критерием качества является капиллярная впитываемость при умеренной прочности листов, достаточной для сохранения целостности материала под собственной силой тяжести при увлажнении [7, 18, 19].

Для получения количественных зависимостей капиллярной впитываемости и прочности сепараторной бумаги были изготовлены образцы с различным соотношением стеклянного волокна четырех марок, отличающегося его номинальным диаметром. Результаты исследования представлены в таблице.

Влияние композиции стекловолокна на свойства сепараторной бумаги

Доля стекловолокна, %				Плотность, г/см ³	Предел прочности при растяжении, МПа	Капиллярная впитываемость, мм
НТВ-0,1	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6			
100	–	–	–	0,25	1,03	147
–	100	–	–	0,24	0,71	145
–	–	100	–	0,24	0,48	102
–	–	–	100	0,25	0,42	100
80	20	–	–	0,25	1,15	94
60	40	–	–	0,25	0,77	95
40	60	–	–	0,24	0,66	101
20	80	–	–	0,24	0,62	103
80	–	20	–	0,25	1,10	100
60	–	40	–	0,24	0,82	111
40	–	60	–	0,24	0,60	123
20	–	80	–	0,24	0,32	146
80	–	–	20	0,25	0,98	108
60	–	–	40	0,25	0,87	113
40	–	–	60	0,25	0,72	125
20	–	–	80	0,25	0,65	131
–	80	20	–	0,25	0,70	124
–	60	40	–	0,25	0,62	133
–	40	60	–	0,25	0,56	143
–	20	80	–	0,25	0,50	146

*Мерсеризованная целлюлоза отобрана на одном из отечественных предприятий, где она используется только для внутреннего потребления и не является товарным продуктом.

Окончание табл.

Доля стекловолокна, %				Плотность, г/см ³	Предел прочности при растяжении, МПа	Капиллярная впитываемость, мм
НТВ-0,1	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6			
–	80	–	20	0,25	0,79	125
–	60	–	40	0,24	0,64	135
–	40	–	60	0,25	0,57	142
–	20	–	80	0,25	0,48	148
–	–	80	20	0,25	0,61	150
–	–	60	40	0,24	0,54	152
–	–	40	60	0,24	0,52	154
–	–	20	80	0,25	0,46	138
40	20	20	20	0,25	0,99	128
20	40	20	20	0,25	0,86	148
20	20	40	20	0,25	0,82	137
20	20	20	40	0,25	0,76	126

Наибольшие значения прочности отмечены у образцов с содержанием более 80 % стекловолокна номинальным диаметром 0,1 мкм, наименьшие – у образцов с содержанием более 40 % волокон номинальным диаметром 0,6 мкм. Отмеченная тенденция снижения прочности образцов по мере увеличения доли грубых волокон (диаметром более 0,4 мкм) согласуется с ранее полученными результатами [1–3, 10, 14, 20].

Построение кривых «напряжение–деформация», проведенное по методике [6], позволило обосновать различия в поведении сепараторной бумаги, полученной из волокон номинальным диаметром 0,1; 0,25 мкм и 0,4; 0,6 мкм, в условиях воздействия нагрузки.

Графики, приведенные на рис. 1, наглядно демонстрируют отличие форм кривых «напряжение–деформация» для монокомпонентных образцов из тонких (диаметр 0,1 и 0,25 мкм) и более грубых (диаметр 0,4 и 0,6 мкм) волокон.

Несмотря на то, что все исследуемые материалы характеризуются вязкоупругим поведением при приложении внешних нагрузок, в первом случае преобладают упругие деформации – кривые 1 и 2 имеют форму, близкую к прямой; во втором случае кривые 3 и 4 более пологие, вытянутые вдоль оси абсцисс, т. е. в этих материалах преобладают остаточные или пластические

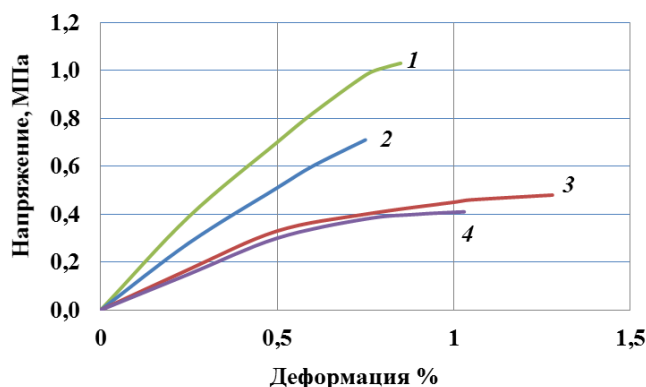


Рис. 1. Влияние на форму кривой «напряжение – деформация» марки стекловолокна: 1 – НТВ-0,1; 2 – МТВ-0,25; 3 – МТВ-0,4; 4 – УТВ-0,6

деформации, и разрушение материала чаще идет по механизму вязкого течения при низком пределе прочности (см. таблицу). При условии использования одного режима проклейки разница в поведении образцов обусловлена свойствами волокна. Известно, что стеклянные волокна представляют собой хрупкие стержни [8]. Вероятно, материалы из волокон большого диаметра образуют грубую стохастическую сетку, подвижность отдельных элементов в которой выше, что и приводит к вязкому течению и быстрому разрушению образцов при небольших внешних нагрузках.

Таким образом, анализ полученных кривых «деформация–напряжение» позволяет обосновать влияние номинального диаметра стеклянных волокон на прочность материала.

Влияние добавки грубых волокон номинальным диаметром 0,6 мкм в композицию к волокну марки МТВ-0,25 представлено на рис. 2.

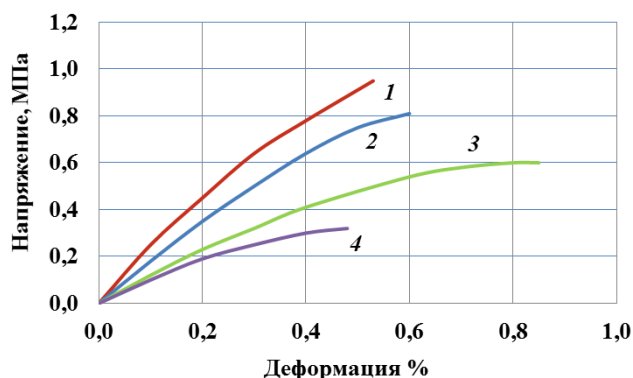


Рис. 2. Влияние на форму кривой «напряжение–деформация» добавки стекловолокна марки УТВ-0,6, %: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80

Расчет коэффициентов корреляции показал обратно пропорциональную зависимость предела прочности при растяжении и капиллярной впитываемости исследуемых образцов сепараторной бумаги (рис. 3).

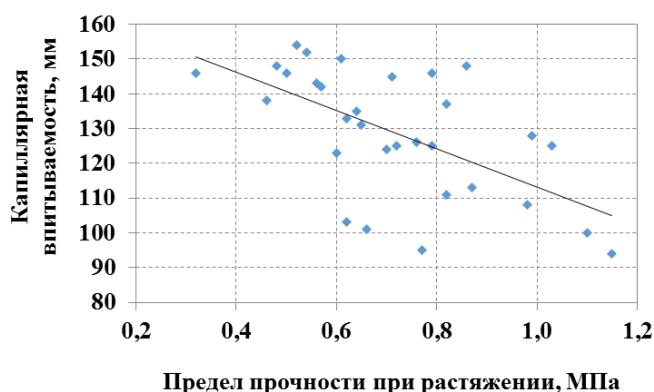


Рис. 3. Взаимосвязь предела прочности при растяжении и капиллярной впитываемости сепараторной бумаги: $\blacklozenge$ – экспериментальные точки; — – корреляционная зависимость ($r = -0,60$)

Необходимо отметить, что установленная корреляционная зависимость справедлива только для многокомпонентных (2-х и более) образцов и не распространяется на монокомпонентные стекловолоконистые образцы. Принимая во внимание плотность исследуемых образцов, которая не изменяется при варьировании композиции, ухудшение капиллярной впитываемости при повышении прочности можно объяснить изменениями структуры образцов на микроуровне.

Высокое содержание нано- и микротонких волокон номинальным диаметром 0,1 и 0,25 мкм, вероятно, приводит к образованию большого количества закрытых пор, которые затрудняют подъем воды в образце. Напротив, высокое содержание волокон номинальным диаметром >0,4 мкм вызывает образование более грубой структуры с большим количеством достаточно крупных пор, что способствует улучшению капиллярной впитываемости при снижении прочности.

Таким образом, для сохранения баланса между высокой капиллярной впитываемостью и требуемой прочностью необходимо создавать композиции, содержащие как тонкие, так и более грубые стеклянные волокна. При этом добавка волокон диаметром 0,4 мкм и более не должна превышать 40 %.

Ввиду низкой прочности сепараторной бумаги из стеклянных волокон (независимо от композиции) на втором этапе было исследовано влияние упрочняющего компонента – мерсеризованной целлюлозы, которая является традиционным растительным волокном для получения высокопористых видов бумаги, включая фильтровальные. Кроме того, ее добавка в композицию стекловолоконистой бумаги обусловлена экономической целесообразностью. В качестве основы использовали стекловолокно МТВ-0,25 с расходом минерального связующего 20 %. Данные эксперимента представлены на рис. 4.

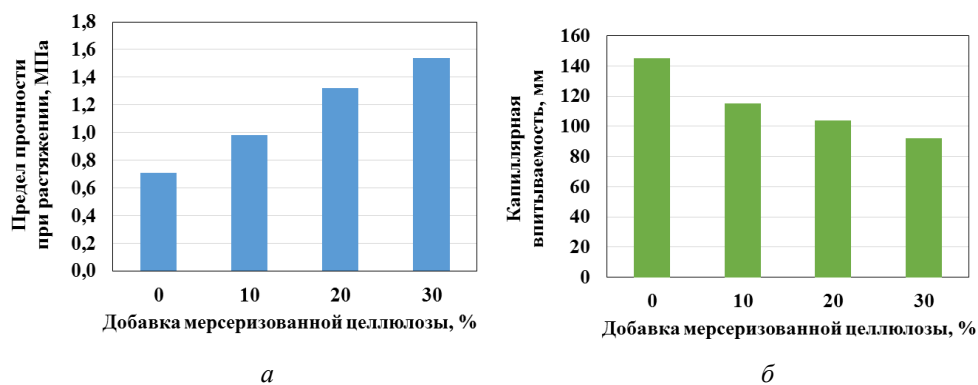


Рис. 4. Влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на предел прочности при растяжении (а) и капиллярную впитываемость (б) сепараторной бумаги

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении предела прочности сепараторной бумаги по мере повышения доли мерсеризованной целлюлозы в ее композиции. Капиллярная впитываемость при этом закономерно снижается. Мерсеризованная целлюлоза, в отличие от стеклянных волокон, при увлажнении сильно набухает. Такие материалы имеют переменную пористость и, как следствие, невысокую впитываемость. Так, добавка 20 % мерсеризованной целлюлозы повышает прочность образцов

в 2 раза при снижении капиллярной впитываемости на 30 %. Для сохранения баланса между удовлетворительной прочностью и требуемой впитываемостью необходимо поддерживать расход мерсеризованной целлюлозы на уровне, не превышающем 10 %.

Заключение

Проведенные исследования позволили выявить обратную корреляционную зависимость между прочностью при растяжении и капиллярной впитываемостью сепараторных бумаг, изготовленных из двух и более марок стеклянных волокон.

В зависимости от требований заказчика и области применения бумаги необходимо избирательно подходить к выбору композиции по волокну для сохранения баланса между требуемым уровнем впитывающей способности и удовлетворительной прочностью.

Подтвержден низкий уровень прочности сепараторных бумаг, не превышающий 1,2 МПа, независимо от композиции по волокну; установлено негативное влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на капиллярную впитываемость сепараторной бумаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безлаковский А.И. Основы технологии бумагоподобных минерально-волоконистых композитов повышенной прочности: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2009. 162 с.
2. Безлаковский А.И., Дубовый В.К. Связеобразование в минерально-волоконистых композитах повышенной прочности // Лесн. журн. 2009. № 6. С. 125–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Безлаковский А.И., Дубовый В.К., Сысоева Н.В., Коваленко В.В. Связеобразование в системе «минеральное волокно–минеральное связующее» // Материалы XIX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Волгоград, 2011. С. 32.
4. ГОСТ 12602–93. Бумага и картон. Определение капиллярной впитываемости. Метод Клемма. Взамен ГОСТ 12602–67; введ. 01.01.1995. Минск: Изд-во стандартов, 1995. 7 с.
5. ГОСТ ИСО 1924-1–96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Ч. 1. Метод нагружения с постоянной скоростью. Взамен ГОСТ 13525.1–79; введ. 01.01.2000. Минск: Изд-во стандартов, 2000. 10 с.
6. Гурьев А.В., Казаков Я.В., Комаров В.И., Хованский В.В. Практикум по технологии бумаги / под ред. В.И. Комарова. Архангельск: АГТУ, 2001. 112 с.
7. Дубовой Е.В., Свиридов Е.Б., Щербак Н.В., Дубовый В.К. Энергосберегающая экологически безопасная технология охлаждения воздуха аппаратами испарительного типа. СПб.: Политехн. ун-т, 2017. 286 с.
8. Дубовый В.К. Стеклянные волокна. Свойства и применение. СПб.: Нестор, 2003. 130 с.
9. Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 370 с.
10. Дубовый В.К., Казаков Я.В. Использование сульфата алюминия для повышения деформационных характеристик бумагоподобных материалов из минеральных волокон // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 188–193. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Дубовый В.К., Чижов Г.И. Силы связи в бумаге из растительных и минеральных волокон // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 116–124. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Коваленко В.В. Совершенствование технологии получения бумагоподобных материалов фильтровального назначения на основе стеклянных волокон: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2014. 131 с.

13. Смолин А.С., Щербак Н.В., Лоренгель М.А., Дубовой Е.В. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений).

14. Хованский В.В., Дубовый В.К., Иваненко А.Д. Влияние алюмосиликатного связующего на прочность бумагоподобных композитов из каолиновых волокон // Химия и технология бумаги: межвуз. сб. науч. тр. СПб., 2001. С. 12–17.

15. Air Conditioning // Eberspächer: the Official Site. Available at: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html> (дата обращения: 02.09.17).

16. Andrew Industries Limited. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm> (дата обращения: 02.09.17).

17. DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue-Papier und Tissue-Produkte. Teil 8: Zeit für die Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekapazität, Korbeintauch-Prüfverfahren [DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue Paper and Tissue Products. Part 8: Water-Absorption Time and Water-Absorption Capacity, Basket-Immersion Test Method (ISO 12625-8:2010)]. Germany: DIN Publ., 2011. 15 p.

18. Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S., Sancho L.D. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) // JRC Science and Policy Reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. 906 p.

19. World's First Personal Air Cooler // Evapolar: the Official Site. Available at: <https://evapolar.com> (дата обращения: 02.09.17).

20. 400-LS Mineral Fiber Paper. Available at: http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls_mineral_fiber_paper.pdf (дата обращения: 02.09.17).

Поступила 05.10.17

UDC 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

Simulation of Separator Paper Composition from Mineral and Vegetable Raw Material for Hardening and Absorbency

N.V. Shcherbak¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

E.V. Dybovoy², Engineer

M.A. Lorengel², Postgraduate Student

A.S. Smolin², Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

²Saint Petersburg State University of Technology and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com, smolin@gturp.spb.ru

The paper discusses the effect of glass fibers of different grades and mercerized pulp in the separator paper composition for air cooling devices on tensile strength and capillary absorption. At the first stage, we assess the variation of these parameters with a change in the proportion of glass fibers differing in nominal diameter (0.1; 0.25; 0.4; 0.6 μm). One-, two-, three- and four-component samples are obtained in laboratory conditions. The fiber content in the composition varies from 0 to 100 % in 20 % increments. The strength level of all samples obtained is low, does not exceed 1.2 MPa. The possibility of increasing the

For citation: Shcherbak N.V., Dybovoy E.V., Lorengel' M.A., Smolin A.S. Simulation of Separator Paper Composition from Mineral and Vegetable Raw Material for Hardening and Absorbency. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 120–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

tensile strength by reducing the proportion of glass fibers with a nominal diameter of 0.6 μm is demonstrated. To obtain maximum strength, the proportion of fibers with a nominal diameter greater than 0.4 μm should not exceed 20 %. We establish a significant correlation between the tensile strength and the capillary rise of glass fiber samples, regardless of their nominal diameter. The maximum increase in tensile strength leads to a 30 % reduction in the separator paper capillary rise. In the second stage, the influence of mercerized pulp additive on the strength and capillary rise of separator paper is studied. We observe a gradual increase in the strength of separator paper when adding mercerized pulp to a glass fiber composition with a nominal diameter of 0.25 μm . For example, a 20 % addition of mercerized pulp leads to an increase in the strength of the samples by a factor of 2 with a drop in capillary rise by 30 %. The increase in strength while maintaining the capillary rise at the required level is possible with the addition of mercerized pulp not more than 10 %. The result of the studies allows us to regulate the fiber furnish to obtain separator paper with the required level of properties necessary for the manufacture of evaporative elements used in air cooling units.

Keywords: glass fiber, separator paper, mercerized pulp, tensile strength, paper capillary rise.

REFERENCES

1. Bezlakovskiy A.I. *Osnovy tekhnologii bumagopodobnykh mineral'no-voloknistykh kompozitov povyshennoy prochnosti*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Fundamentals of Technology of High-Strength Paper-Like Mineral and Fiber Composites: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2009. 162 p.
2. Bezlakovskiy A.I., Dubovyy V.K. Svyazobrazovanie v mineral'no-voloknistykh kompozitakh povyshennoy prochnosti [Bond-formation in Mineral-fiber Composites of High Strength]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 6, pp. 125–130.
3. Bezlakovskiy A.I., Dubovyy V.K., Sysoeva N.V., Kovalenko V.V. Svyazobrazovanie v sisteme «mineral'noe volokno – mineral'noe svyazuyushchee» [Bond-formation in the System “Mineral Fiber – Mineral Binder”]. *Materialy XIX Mendelevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii* [Proc. 19th Mendelev Congress on General and Applied Chemistry]. Volgograd, 2011, p. 32. (In Russ.)
4. GOST 12602–93. *Bumaga i karton. Opredelenie kapillyarnoy vpytyvaemosti. Metod Klemma* [State Standard 12602–93. Paper and Board. Determination of Capillary Rise. Klemm Method]. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 7 p.
5. GOST ISO 1924-1–96. *Bumaga i karton. Opredelenie prochnosti pri rastyazhenii. Ch. 1. Metod nagruzheniya s postoyannoy skorost'yu* [State Standard ISO 1924-1–96. Paper and Board. Determination of Tensile Properties. Part 1. Constant Rate of Loading Method]. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 2000. 10 p.
6. Gur'ev A.V., Kazakov Ya.V., Komarov V.I., Khovanskiy V.V. *Praktikum po tekhnologii bumagi* [Workshop on Paper Technology]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2001. 112 p. (In Russ.)
7. Dubovoy E.V., Sviridov E.B., Shcherbak N.V., Dubovyy V.K. *Energoberegayushchaya ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya okhlazhdeniya vozdukha apparatami isparitel'nogo tipa* [Energy-Saving Environmentally Friendly Technology for Air Cooling with Evaporation Type Devices]. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2017. 286 p. (In Russ.)
8. Dubovyy V.K. *Steklyannye volokna. Svoystva i primeneniye* [Glass Fibers. Properties and Application]. Saint Petersburg, Nestor Publ., 2003. 130 p. (In Russ.)
9. Dubovyy V.K. *Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh volokon*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Paperlike Composites Based on Mineral Fibers: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 370 p.
10. Dubovyy V.K., Kazakov Ya.V. Ispol'zovanie sul'fata alyuminiya dlya povysheniya deformatsionnykh kharakteristik bumagopodobnykh materialov iz

mineral'nykh volokon [Application of Aluminum Sulfate for Increasing Deformational Characteristics of Paper-like Materials of the Mineral Fibers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 1-2, pp. 188–193.

11. Dubovyy V.K., Chizhov G.I. Sily svyazi v bumage iz rastitel'nykh i mineral'nykh volokon [Bonding Force in Paper Made of Plant and Mineral Fibers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 4, pp. 116–124.

12. Kovalenko V.V. Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya bumagopodobnykh materialov fil'troval'nogo naznacheniya na osnove steklyannykh volokon: dis. ... kand. tekhn. nauk [Technological Advancement for Producing Paper-like Materials of Filtering Purpose Based on Glass Fibers: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangel'sk, 2014. 131 p.

13. Smolin A.S., Shcherbak N.V., Lorengel' M.A., Dubovoy E.V. Otsenka effektivnosti ochestki vozdukha mineral'novoloknistymi separatornymi bumagami [Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 126–134.

14. Khovanskiy V.V., Dubovyy V.K., Ivanenko A.D. Vliyanie alyumosilikatnogo svyazuyushchego na prochnost' bumagopodobnykh kompozitov iz kaolinovykh volokon [Influence of Aluminosilicate Binder on the Strength of Paper-like Composites from Kaolin Fibers]. *Khimiya i tekhnologiya bumagi: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Chemistry and Technology of Paper]. Saint Petersburg, 2001, pp. 12–17.

15. Air Conditioning. *Eberspächer. The Official Site*. Available at: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html>.

16. *Andrew Industries Limited*. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm>.

17. DIN EN ISO 12625-8:2011. *Tissue-Papier und Tissue-Produkte. Teil 8: Zeit für die Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekapazität, Korbeintauch-Prüfverfahren* [DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue Paper and Tissue Products. Part 8: Water-Absorption Time and Water-Absorption Capacity, Basket-Immersion Test Method (ISO 12625-8:2010)]. Germany, DIN Publ., 2011. 15 p.

18. Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S., Sancho L.D. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). *JRC Science and Policy Reports*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2015. 906 p.

19. World's First Personal Air Cooler. *Evapolar. The Official Site*. Available at: <https://evapolar.com>.

20. *400-LS Mineral Fiber Paper*. Available at: http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls_mineral_fiber_paper.pdf.

Received on October 05, 2017



УДК 630*96

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ

*С.В. Коптев¹, д-р с.-х. наук, доц.**О.В. Скуднева², ст. преп.*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.koptev@narfu.ru²Научно-учебный комплекс «Фундаментальные науки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Рубцовская наб., д. 2/18, Москва, Россия, 105005; e-mail: chykchyk@yandex.ru

В статье рассмотрены особенности и возможности применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике на основе международного опыта. Особое внимание уделено вопросу определения и привязки границ лесных участков к карте местности с помощью приемника спутниковой навигационной системы, размещаемого на летательном аппарате. Показано, что использование беспилотных аппаратов исключает погрешности работы спутниковой навигационной системы, связанные с ее недостаточной помехоустойчивостью в условиях отражающих предметов и поверхностей (кроны и стволы деревьев, места с перепадом высот). Отмечены недостатки, ограничивающие применение беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике: нерегламентированность их использования в воздушном пространстве; наличие слабой теоретической базы; низкое качество получаемых изображений; сложность организации лётно-съёмочного процесса; невысокая точность бортовых навигационных систем; отсутствие наземных опорных точек; высокая аварийность и др. Установлена эффективность мониторинга лесных массивов с использованием беспилотных летательных аппаратов в целях обнаружения очагов пожаров, оказания помощи при пожаротушении, контроля состояния лесов и объектов лесной инфраструктуры, нахождения мест незаконной заготовки древесины и несанкционированных свалок, определения таксационных показателей древостоев, оптимизации технологий разработки лесосек, учета животных и др. Показана возможность создания транспортных беспилотных летательных аппаратов с навигационно-пилотажными системами и их использования при определении границ лесных участков и контроле привязки к карте местности с обеспечением требований точности.

Ключевые слова: лесное хозяйство, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, навигационно-пилотажные системы, опорные точки лесосеки.

В связи с развитием мирового авиастроения и цифровых технологий беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят применение в различных сферах деятельности человека, в том числе и в тех областях, где требуется за сравнительно короткий период времени получить пространственную инфор-

Для цитирования: Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–138. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

мацию приемлемого качества о труднодоступных территориях. Поэтому использование БПЛА для съемки местности является одним из наиболее актуальных направлений в лесохозяйственной практике [3, 8, 13, 16]. Этот способ получения геопространственных данных, отличающийся оперативностью, актуален в настоящее время [1, 3]. В ближайшее десятилетие самыми крупными потребителями услуг беспилотной авиации будут те виды деятельности, где требуется регулярный осмотр линейных и площадных объектов [8].

БПЛА классифицируют на основании следующих ключевых характеристик: тип летательного аппарата (самолет, мультикоптер), дальность, высота и время полета, масса. Аппараты самолетного типа превосходят мультикоптеры по основным рабочим характеристикам. Преимущества БПЛА вертолетного типа – возможность зависания в одном месте, детальный осмотр объектов с близкого расстояния, работа с ограниченных площадок [3]. Для лесного хозяйства требуется сочетание детальности, производительности, непрерывности наблюдений при приемлемой себестоимости работ. В связи с этим в лесохозяйственной практике наибольшее применение находят БПЛА самого низкого класса (масса – до 10 кг, высота полета – до 1 км, продолжительность полета – 20...60 мин), оснащенные калиброванными фотокамерами. Их используют для мониторинга лесных массивов в целях обнаружения очагов пожаров и оказания помощи при пожаротушении, контроля состояния лесов и объектов лесной инфраструктуры, нахождения мест незаконной заготовки древесины и несанкционированных свалок, определения таксационных показателей древостоев, оптимизации технологий разработки лесосек, учетов маршрутов животных и др. [12, 15].

Следует отметить, что применение БПЛА в практике лесного хозяйства не имеет серьезной теоретической базы, учитывающей особенности техники, оптимизацию режимов полетов и необходимое количество аппаратов, что существенно снижает их практические возможности и результативность. БПЛА должны рассматриваться как элементы единой информационной системы совместно с действующими в лесном хозяйстве информационными системами [3]. Существует ряд проблем, ограничивающих использование беспилотников на практике и связанных с отсутствием регламентирующих документов по их применению в воздушном пространстве, условий страхования от ущерба третьим лицам, наземных опорных точек, а также с плохим качеством получаемых изображений, сложностью организации летно-съемочного процесса, низкой точностью бортовых навигационных систем [2, 3].

В настоящее время привязку границ лесных участков производят с помощью геодезических инструментов, которые обеспечивают требуемую точность определения и контроль за эксплуатационной площадью лесосек.

Погрешности измерения линий, углов и площадей лесных участков и лесосек, указанные на планово-картографических материалах, не должны превышать значений, приведенных в Правилах заготовки древесины... [7], которые допускают для съемки и привязки границ лесосек использовать также спутниковые навигационные системы (СНС), обеспечивающие необходимую точность измерений.

Определение координат и привязка границ лесных участков и лесосек с помощью геодезических инструментов – трудоемкий процесс, зависящий от квалификации специалистов и возможности выполнения работ на местности. Кроме того, точность выхода в опорную точку (один из углов лесосеки) определяется масштабом карт и их соответствием фактическому рельефу. Привяз-

ка к топографическому знаку (реперу) границ лесосеки в реальных таежных условиях крайне затруднена при наличии болот, рек, озер. В связи с этим следует рассмотреть возможность применения СНС для определения на местности координат опорных точек-визиров лесосеки (или другого лесного участка) с обеспечением требований по точности привязки координат. Практика работы подтверждает недостаточную помехоустойчивость СНС в условиях радиопомех вблизи поверхности Земли при наличии отражающих предметов и поверхностей (кроны и стволы деревьев, места с перепадом высот), что приводит к неопределенностям при обозначении границ объектов и в ряде случаев недопустимо.

В настоящее время БПЛА стали широко применять при мониторинге лесных массивов для обнаружения очагов лесных пожаров, что позволяет принимать меры к их локализации и оказанию помощи в пожаротушении, контролировать состояние лесов, определять зоны усыхания, незаконной заготовки древесины, затопления и др. [9, 10, 14, 16]. В дальнейшем можно рассматривать БПЛА в качестве транспортного средства для доставки различных грузов для пожаротушения, запасных частей для техники, а также продуктов питания и лекарств для специалистов, работающих в труднодоступных районах. Кроме лесного хозяйства, транспортные БПЛА можно эффективно использовать на промышленных, газо- и нефтедобывающих предприятиях, в гидрометеослужбе, при освоении Арктики и Северного морского пути, в интересах Министерства обороны и МЧС.

Особое место при создании БПЛА нового поколения будут занимать навигационно-пилотажные системы (НПС) на основе бортовой цифровой вычислительной машины, современного программно-математического обеспечения (ПМО), микроминиатюризации комплектующих изделий и радиоэлементов, использования СНС. Такие системы, обладающие высокой точностью ориентации и надежностью выполнения режимов автоматического взлета–полета–посадки, обеспечат безопасность и простоту эксплуатации БПЛА различных типов и назначения [3, 9] и будут дублировать работу пилота и навигатора на пилотируемых летательных аппаратах, а в будущем смогут заменить 2-го пилота и штурмана [4–6].

В данной статье рассматривается технология использования легких БПЛА для определения координат границ лесных участков, контроля и привязки их к карте местности, изучения состояния лесных насаждений с помощью установленной на БПЛА фото- и видеоаппаратуры оптического и инфракрасного диапазонов, оценки таксационных параметров и определения возможного объема заготовки древесины и отдельных сортиментов на данных участках.

Тип БПЛА и особенности его конструкции выбираются исходя из условий его назначения – обеспечение определения границ объекта (лесосеки, лесного участка) и контроль привязки лесосеки к планово-картографическим материалам. В качестве дополнительного оборудования для контроля состояния отдельных деревьев и древостоев, установления основных таксационных параметров древостоев (среднего диаметра, средней высоты, полноты, запаса) на планируемой площади лесосеки можно предложить использовать фоторегистраторы, что в дальнейшем позволит оценивать эффективность освоения лесного участка и прогнозировать выход сортиментов.

На рис. 1 приведен эскиз карты местности с обозначением разметки лесосеки с помощью БПЛА.

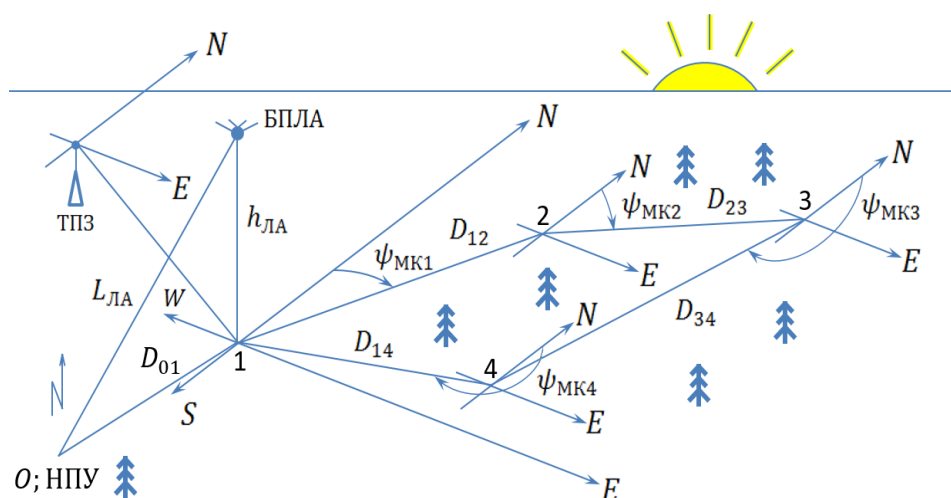


Рис. 1. Эскиз карты местности: N, E, S, W – стороны света (север, восток, юг, запад); O – опорная точка нахождения оператора; 1–4 – опорные точки лесосеки; НПУ – наземный пульт управления; $\psi_{МК1}$, $\psi_{МК2}$, $\psi_{МК3}$, $\psi_{МК4}$ – азимуты на опорные точки (МК – магнитный курс); D_{01} , D_{12} , D_{23} , D_{34} , D_{14} – расстояние между опорными точками; л – лес; $L_{ЛА1}$ – дальность от оператора до БПЛА; $h_{ЛА}$ – высота БПЛА над опорной точкой

Технология определения на местности участка планируемой заготовки древесины заключается в следующем.

Управление полетом БПЛА выполняется с помощью НПУ. В конструкции БПЛА должно быть предусмотрено устройство для сброса вымпела с небольшим грузом или легкого радиомаяка по команде от НПУ.

С НПУ на БПЛА вводятся географические координаты (долгота λ , широта ϕ , высота h , если таковая известна) опорных точек (1–4) лесосеки, снимаемые с географических карт. При этом следует иметь в виду, что географические координаты и контуры местности, показанные на карте, не всегда совпадают с фактическим рельефом. При вводе координат опорных точек для широты имеет место соотношение: $1^\circ - 111,3 \text{ км}$; $1' - 1855,0 \text{ км}$; $1'' - 30,9 \text{ м}$; $0,1'' - 3,1 \text{ м}$. Для долготы цена деления зависит от широты места проведения работ и измеряется по закону $\lambda = \cos \phi$.

Опорную точку нахождения оператора с НПУ целесообразно (но не обязательно) размещать вблизи очередной опорной точки лесосеки, указанной на географической карте.

Для определения на местности положения опорной точки 1 лесного массива при работающем на БПЛА приемнике СНС с введенными в него координатами этой точки аппарат должен зависнуть над опорной точкой на высоте 30...40 м, безопасной для его работы. В зависимости от конструкции БПЛА зависание над опорной точкой выполняется автоматически или с помощью НПУ оператора по нулевому сигналу отклонения от введенных координат опорной точки. Сброс пассивного радиомаяка (вымпела) происходит по команде оператора с НПУ. Место падения радиомаяка фиксируется как опорная точка лесосеки.

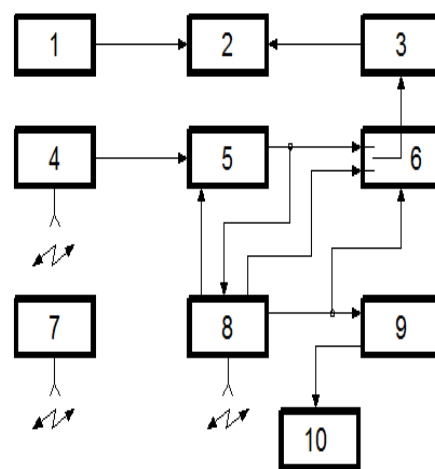
Оператор с БПЛА и НПУ перемещается в зону следующей опорной точки 2 лесосеки, расположение которой известно из планово-картогра-

фических материалов. Направление движения по линии границы на эту точку определяется географическим курсом (азимутом), снятым с карты при помощи магнитного компаса или буссоли с учетом магнитного склонения в данной местности. Положение на местности в зоне опорной точки 2 фиксируется аналогично точке 1 и т. д.

Для подтверждения объективности определения опорных точек лесосеки на местности целесообразно повторно производить запуски БПЛА со сбросом радиомаяков (вымпелов) и установлением средних значений координат опорной точки.

На рис. 2 приведена блок-схема системы определения координат опорных точек для отвода границ лесосеки.

Рис. 2 Структурная блок-схема НПС:
1 – жидкостной датчик авиагоризонта; 2 – БПЛА; 3 – блок исполнения команд; 4 – СНС; 5 – вычислительное устройство; 6 – блок переключения каналов; 7 – НПУ; 8 – приемник команд; 9 – блок сброса маяка; 10 – радиомаяк (вымпел) ($\swarrow \nearrow$ – сигналы радиоприема-передачи)



Предложенная методика фиксации места определения опорных точек (визиров) лесосеки (мест отсутствия радиопомех) создает максимально возможные условия для работы приемника СНС на БПЛА. Точность ввода координат и вывод БПЛА в точку сброса радиомаяка (вымпела) определяются возможностями конструкции БПЛА и не должны вызывать сомнений, так как аналогичные приемы работы с СНС широко используются автомобилистами в мобильных телефонах.

При определении опорных точек важным параметром является точность, с которой найдены координаты непосредственно приемником СНС на БПЛА. Среднеквадратическая ошибка составляет 15 м с учетом постоянной составляющей статистической ошибки в зоне работы оператора с СНС. В случае необходимости повышение точности определения координат опорной точки может быть достигнуто введением дифференциального режима работы СНС, который позволяет устанавливать и исключать постоянную составляющую погрешности в конкретной зоне. На основании значения постоянной составляющей погрешности вводят поправку, которую учитывают при определении координат опорной точки с погрешностью до 2...3 м. Такой дифференциальный режим используют там, где необходимо иметь максимально возможную точность (например, в картографии, где погрешность составляет до 1 м).

Задачу привязки лесосеки к карте местности можно решать также с применением транспортных БПЛА, поскольку ПМО НПС позволяет выпол-

нять полет по заданным траектории и курсу на малые и большие расстояния с прохождением опорных точек и сбросом груза.

Существующие технологии отвода лесосек не лишены недостатков. В работе [2] предложен новый способ отвода лесосек, основанный на применении СНС и системы радиочастотной идентификации с использованием закапываемых в землю капсул, содержащих радиометку. По мнению авторов, такой способ в отличие от существующих позволяет снизить трудоемкость работ и затраты времени на разметку границ лесосек, а также дает дополнительные преимущества для участков, требующих особого подхода к сохранению биоразнообразия.

Заключение

Предложенная методика определения границ лесосеки с установкой опорных точек (визиров) участка при использовании БПЛА обеспечивает необходимую точность и контроль привязки их к карте местности, позволяет применять легкие и сравнительно недорогие БПЛА и обеспечивать заявленную СНС точность определения координат.

Обслуживание легких БПЛА не требует высокой квалификации оператора и может быть выполнено обученными студентами или молодыми специалистами. Необходимо, чтобы программно-математическое обеспечение НПС БПЛА позволяло получать исходные данные для формирования технического задания на работу по заявленной технологии.

Применение БПЛА с приемником СНС на борту над лесным участком исключает влияние помех и гарантирует точность определения координат. Кроме того, установка на легкий БПЛА фото- и видеорегистраторов при проведении «челночных» полетов над лесным массивом позволяет оценивать состояние отдельных деревьев и древостоя в целом, предварительно прогнозировать объем заготовки и товарную структуру древесины.

Предложенную методику определения опорных точек можно использовать в картографии, геодезии, а также при работах, выполняемых транспортными БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Н.А. Методические вопросы картографического обеспечения деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 1. С. 52–57.
2. Васильев А.С., Лукашевич В.М., Шегельман И.Р., Суханов Ю.В. Новый способ отвода лесосек // Инж. вестн. Дона (электрон. науч. журн.). 2015. Ч. 2, № 2.
3. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: Школа, 2015. 444 с.
4. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 145174 U1 на полезную модель / Скуднева О.В., Мелехов В.И., Корнейчук В.В. 2015.
5. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 2597814 C1 на изобретение / Скуднева О.В., Корнейчук В.В. 2016.
6. Пилотажно-навигационное устройство транспортного летательного аппарата: пат. Рос. Федерация № 151304 U1 на полезную модель / Скуднева О.В., Мелехов В.И., Корнейчук В.В. 2015.
7. Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в ст. 23 Лесного кодекса РФ: приказ Минприроды России № 474 от 13 сент. 2016 г.; зарегистр. в Минюсте России

29.12.2016 № 45041. (ред. от 11.01.2017). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования. Ч. 2. Режим доступа: <http://www.racurs.ru> (дата обращения: 10.10.2017).

9. Скуднева О.В. Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // Лесн. журн. 2014. № 6. С. 150–154. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Скуднева О.В. Прошлое и будущее беспилотных летательных аппаратов. Вопросы навигации // Строительная наука – XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. тр. VII междунар. науч.-техн. конф., 28–30 июня 2016 г., Архангельск. С. 298–302.

11. Christiansen S. Drones over Alaska // Anchorage Press. August 19, 2009. Available at: http://www.anchorapress.com/news/drones-over-alaska/article_18cd878a-503a-511f-b4c9-eb50cca8cd03.html (дата обращения: 10.07.2017).

12. Getzin S., Nuske R., Wiegand K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests // Remote Sensing. 2014. Vol. 6, iss. 8. Pp. 6988–7004. doi: 10.3390/rs6086988

13. Grenzdörffer G.J., Engel A., Teichert B. The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: XXIst ISPRS Congress Technical Commission I. Vol. XXXVII, part B1 / ed. by Ch. Jun, J. Jie, A. Baudoin. Beijing, China, 2008. Pp. 1207–1214.

14. Hein G., Bento M. Unmanned Aerial Vehicles: an Overview // Inside GNSS. 2008. Vol. 3, no. 1. Pp. 54–61.

15. Merino L., Caballero F., Martinez-de-Dios J., Maza I., Ollero A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2012. Vol. 65, iss. 1–4. Pp. 533–548.

16. Zhang L., Wang B., Peng W., Li Ch., Lu Z., Guo Y. Forest Fire Detection Solution Based on UAV Aerial Data // International Journal of Smart Home. 2015. Vol. 9, no. 8. Pp. 239–250.

Поступила 12.08.17

UDC 630*96

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

On the Applicability of UAV in Forestry Practice

S.V. Koptev¹, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.V. Skudneva², Senior Lecturer

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: s.koptev@narfu.ru

²Scientific and educational complex “Fundamental Sciences”, Bauman Moscow State Technical University, Rubtsovskaya Naberezhnaya, 2/18, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: chykchyk@yandex.ru

The article discusses the features and capabilities of unmanned aerial vehicles (UAVs) in forestry practice on the basis of the international experience. The focus is on the problem of defining and linking the boundaries of forest sites to the map of the area using a satellite navigation system (SNS) receiver, placed on an UAV. The use of UAVs eliminates errors of the SNS operation due to its insufficient noise immunity in conditions of reflecting objects

For citation: Koptev S.V., Skudneva O.V. On the Applicability of UAV in Forestry Practice. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 130–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.130

and surfaces (crowns and trunks of trees, places with an altitude difference). We mark the shortcomings that limit the use of unmanned aerial vehicles in forestry practices (lack of regulation on their use in airspace; weak theoretical basis; poor quality of the images obtained; complexity of the flight survey organization; low accuracy of on-board navigation system; lack of ground control points; accident risks; etc.). The paper proves the effectiveness of monitoring forest areas using UAVs in order to detect fire fronts, to assist in fire-fighting, to monitor the state of forests, objects of forest infrastructure, sites of illegal logging, unauthorized landfills, to determine forest stand taxation indicators, to improve technologies of logging sites development, census of animals, etc. The authors demonstrate the possibility of creating transport unmanned aerial vehicles with navigation-flight systems and their use in determining forest land boundaries and map control of the region providing accuracy requirements.

Keywords: forestry, monitoring, unmanned aerial vehicle, navigation and flight system, control point of a cutting area.

REFERENCES

1. Alekseenko N.A. Metodicheskie osobennosti kartograficheskogo obespecheniya prirodookhrannoy deyatel'nosti osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy Rossii [Specific Methodological Features of Cartographic Support of the Activities of Nature Protection Areas in Russia]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya* [Vestnik MGU. Series 5. Geography], 2014, no. 1, pp. 52–57.
2. Vasil'ev A.S., Lukashevich V.M., Shegel'man I.R., Sukhanov Yu.V. Novyy sposob otvoda lesosek [New Method for Coupe Demarcation]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2015, vol. 36, no. 2-2, pp. 85–86.
3. Moiseev V.S. *Osnovy teorii effektivnogo primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov: monogr.* [Fundamentals of the Theory of UAV Effective Use]. Kazan, Shkola Publ., 2015. 444 p. (In Russ.)
4. Skudneva O.V., Melekhov V.I., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnaya sistema transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight System of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 145174 U1, 2015.
5. Skudneva O.V., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnaya sistema transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight System of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 2597814 C1, 2016.
6. Skudneva O.V., Melekhov V.I., Korneychuk V.V. *Pilotazhno-navigatsionnoe ustroystvo transportnogo letatel'nogo apparata* [Flight Navigator of a Transport Aircraft]. Patent RF, no. 151304 U1, 2015.
7. *Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny i osobennostey zagotovki drevesiny v lesnichestvakh, lesoparkakh, ukazannykh v st. 23 Lesnogo kodeksa RF: prikaz Minprirody Rossii № 474 ot 13 sent. 2016 g.* [On Approval of the Rules for Timber Harvesting and the Features of Timber Harvesting in Forest Areas, Forest Parks, Specified in the Article No. 23 of the Forest Code of the Russian Federation: Order No. 474 of the Ministry of Natural Resources of Russia of September 13, 2016].
8. Sechin A.Yu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. *Bespilotnyy letatel'nyy apparat: primeneniye v tselyakh aerofotos'emki dlya kartografirovaniya. Ch. 2* [Unmanned Aerial Vehicle: Application for Aerial Photography for Mapping. Part 2]. Available at: <http://www.racurs.ru> (accessed 10.10.2017).
9. Skudneva O.V. *Bespilotnye letatel'nye apparaty v sisteme lesnogo khozyaystva Rossii* [Unmanned Airborne Vehicles in the Forestry Sector of Russia]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 6, pp. 150–154.
10. Skudneva O.V. Proshloe i budushchee bespilotnykh letatel'nykh apparatov. *Vo-prosy navigatsii* [The Past and the Future of Unmanned Aerial Vehicles. Questions of Navigation]. *Stroitel'naya nauka – XXI vek: teoriya, obrazovanie, praktika, innovatsii Severo-Arkticheskomu regionu: sb. tr. VII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 28–30 iyunya 2016 g.*,

Arkhangel'sk [Construction Science – 21st Century: Theory, Education, Practice, Innovations to the North-Arctic Region: Proc. 7th Intern. Sci. Techn. Conf., June 28–30, 2016, Arkhangelsk]. Arkhangelsk, 2016, pp. 298–302.

11. Christiansen S. Drones over Alaska. *Anchorage Press*, August 19, 2009. Available at: http://www.anchorapress.com/news/drones-over-alaska/article_18cd878a-503a-511f-b4c9-eb50cca8cd03.html (accessed 10.07.2017).

12. Getzin S., Nuske R., Wiegand K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, iss. 8, pp. 6988–7004. doi: 10.3390/rs6086988

13. Grenzdörffer G.J., Engel A., Teichert B. The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs in Forestry and Agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXII ISPRS Congress Technical Commission I. Vol. XXXVII. Part B1*. Ed. by Ch. Jun, J. Jie, A. Baudoin. Beijing, China, 2008, pp. 1207–1214.

14. Hein G., Bento M. Unmanned Aerial Vehicles: an Overview. *Inside GNSS*, 2008, vol. 3, no. 1, pp. 54–61.

15. Merino L., Caballero F., Martinez-de-Dios J., Maza I., Ollero A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65, iss. 1-4, pp. 533–548.

16. Zhang L., Wang B., Peng W., Li Ch., Lu Z., Guo Y. Forest Fire Detection Solution Based on UAV Aerial Data. *International Journal of Smart Home*, 2015, vol. 9, no. 8, pp. 239–250.

Received on August 12, 2017



КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 630*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.139

ИЮФРО – 125 ЛЕТ!*

Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) отметил свой 125-летний юбилей. Основанная в 1892 г. немецко-говорящими странами Европы (Германия, Австрия, Швейцария) Международная ассоциация лесных опытных станций, так тогда назывался Союз, представляла собой клуб главных лесничих – руководителей лесных опытных станций из этих стран. Организация не имела деления по секциям, стратегического плана работы, постоянной штаб-квартиры. Основные вопросы, которые поднимались в то время, в первую очередь касались создания международной лесной терминологии, обмена научно-исследовательской информацией, унификации описания пробных площадей, лесных публикаций (лесной библиографии), а также выработки практических решений, таких, например, как определение диаметра и высоты дерева на склонах. Российская империя впервые приняла участие во втором съезде Международной ассоциации в 1896 г. На четырех съездах (1900–1910 гг.) Россию представлял выдающийся лесовод профессор Г.Ф. Морозов.

Первая мировая война почти на два десятилетия прервала деятельность Союза, но уже на съезде 1929 г. был принят новый устав, а организация стала открытой – ее членами могли становиться вузы, лесопромышленные предприятия, отдельные лица. Со временем ИЮФРО превратился в многоязычную (немецкий, французский, английский, испанский языки) и многогранную сеть различных организаций и отдельных лиц, работающих в сотнях тематических групп по десяткам вопросов глобального значения, стал не только навигатором для лесных ученых и исследователей, студентов и практиков, но и советником лесных агентств, национальных правительств и международных организаций.

В настоящее время в Союз входит более 15 тыс. ученых и специалистов, представляющих более 650 членских организаций из более чем 120 стран на пяти континентах. Деятельность ИЮФРО не имеет аналогов. Организация включает 9 отделений, более 50 исследовательских, 180 рабочих и 10 междисциплинарных целевых групп. Кроме того, Союз предлагает специальные программы, проекты и инициативы для поддержки более информированного принятия решений и укрепления исследовательского потенциала. Его уникальные качества как сетевой организации отражены в материалах более чем 70 ежегодно проводимых по всему миру совещаний, спонсируемых этой организацией.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 37.8809.2017/89).

Для цитирования: Тепляков В.К., Шалаев В.С. ИЮФРО – 125 лет! // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 139–142. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.139

За 25 недель до открытия съезда, приуроченного к юбилею, секретариатом ИЮФРО и оргкомитетом в режиме обратного отсчета были опубликованы мнения разных людей о значимости Союза в современном лесном секторе и глобальном научном, экономическом, культурном и политическом пространстве.

В канун съезда, 15 сентября 2017 г., представитель старшего поколения президентов ИЮФРО В. Лизе (Германия), руководивший Союзом в 1977–1981 гг., вручил в Эберсвальде действующему президенту М. Вингфилду (Южная Африка) копию рукописного протокола первого заседания организации, состоявшегося 17 августа 1892 г. в Эберсвальде (Германия). Символично, что торжества в честь 125-летия Союза начались именно 18 сентября 2017 г., т. е. спустя 126 лет после встречи 18 сентября 1891 г. в Баденвайлере (Германия), когда был составлен первый устав организации.

За день до официального открытия состоялась традиционная посадка деревьев, во Фрайбургском университете была открыта выставка «Взаимосвязь лесов, науки и людей – деятельность ИЮФРО за последние 125 лет», на которой был представлен оригинал книги Г.К. фон Карловица «Экономика лесного хозяйства: руководство по выращиванию дикорастущих деревьев» (Hannß Carl von Carlowitz «Sylvicultura Oeconomica»), изданной в 1713 г. и, как считается, положившей начало принципу неистощительности (устойчивости, говоря современным языком) лесопользования. В тот же день на веб-сайте ИЮФРО появилась новая страница – «125 лет ИЮФРО» (125 Years of IUFRO), подготовленная силами секретариата Союза.

Юбилейный съезд проходил 18–22 сентября 2017 г. во Фрайбурге (Германия), расположенном в непосредственной близости от двух других стран-основательниц и Франции, представители которой также принимали участие в написании проекта первого устава.

На съезде собрались около 2000 представителей из 89 стран, включая 9 человек из России, в основном из Санкт-Петербурга, Москвы и Красноярска, а также почти столько же наших соотечественников, работающих за рубежом. Следует отметить, что женщины составили почти 40 % от числа участников.

Съезд проходил под лозунгом «Взаимосвязь лесов, науки и людей», который был утвержден девизом ИЮФРО и стал неотъемлемой частью атрибутики Союза (название/аббревиатура, логотип и девиз). Съезд включал пять пленарных заседаний, несколько общих собраний отделений ИЮФРО, Директорский форум, «Инкубатор» молодых ученых, проводимый Международной ассоциацией студентов лесных вузов (IFSA), летние школы для молодых ученых из развивающихся стран, многочисленные секционные заседания, экскурсии и т. д. Всего было представлено 1879 устных и 452 стендовых доклада на 183 индивидуальных сессиях по пяти основным направлениям:

Леса для людей;

Леса и изменение климата;

Леса и лесные продукты для экологически безопасного («зеленого») будущего;

Биоразнообразие, экосистемные услуги и биологические инвазии;

Взаимодействие лесов, почвы и воды.

Следует отметить, что во время работы съезда состоялось два специальных мероприятия, на которых были представлены две книги.

Одна из них – книга «Гендер и леса: изменение климата, владение жильем, стоимостные цепи и возникающие проблемы» под редакцией К.Дж.П. Колфер, Б.С. Баснетт, М. Элиас, опубликованная в 2016 г.

Большое внимание было уделено презентации книги «История съездов ИЮФРО, исследования леса и участие России» – перевода на английский язык 2-го издания монографии В.К. Теплякова, В.С. Шалаева «История съездов ИЮФРО и Россия». На мероприятии, собравшем более 60 участников из более чем 20 стран выступили: бывшие президенты ИЮФРО В. Лизе (1977–1981 гг.) из Германии и Дон Ку Ли (2006–2010 гг.) из Южной Кореи; действующие президент М. Вингфилд (2014–2019 гг.) из Южной Африки и вице-президент ИЮФРО и языковой редактор книги Д. Парротта из США; исполнительный секретарь ИЮФРО Г. Шмутценхофер (1987–2003 гг.) из Австрии, а также спонсор издания, генеральный директор Национального научно-исследовательского института леса (ННИИЛ, быв. Корейский научно-исследовательский институт леса) – Чан Дже Ли. В своих выступлениях они отметили, что эта книга – первая в своем роде, в подробностях описывающая историю ИЮФРО, а также подчеркнули роль российской лесной науки в становлении лесных исследований.

Почетный профессор Сеульского университета Дон Ку Ли отметил, что после выхода в 2014 г. книги на русском языке многие бывшие президенты, вице-президенты, руководители отделений ИЮФРО просили найти возможность для издания монографии на английском языке, так как она должна служить источником энциклопедической информации о Союзе не только для русских читателей, но и широкого круга лесных исследователей по всему миру. Он выразил благодарность авторам и ННИИЛ, оказавшему финансовую поддержку при переводе и издании книги.

Почетный профессор Гамбургского университета В. Лизе заметил, что книга строит мосты между Западом и Россией, продолжает начатое им в 1980 г., когда он организовал первую встречу руководящего комитета ИЮФРО в СССР. При активном участии профессора МЛТИ И.С. Мелехова и директора ВНИИЛМ профессора Н.А. Моисеева были проведены плодотворные совещания в Москве и Сочи, в результате которых было принято решение о проведении конгресса ИЮФРО в социалистической стране – Югославии (Любляна, 7–21 сентября 1986 г.) и избрании ее представителя профессора Д. Млинчека президентом Союза.

Профессор М. Вингфилд подчеркнул, что книга основана на огромном объеме материалов ИЮФРО и отражает его мнение о неотложной необходимости создания архива публикаций, рабочих материалов и других документов организации.

Г. Шмутценхофер кратко рассказал об истории Союза и подчеркнул, что книга очень важна, так как она единственная в своем роде и включает в себя наиболее значимые моменты каждого конгресса ИЮФРО.

Дж. Парротта пояснил, что для него языковое редактирование книги было удовольствием не только потому, что был сделан качественный, профессиональный перевод на английский (выполнен Е.Н. Самолетовой и В.К. Тепляковым), но и потому, что он открыл для себя много нового, в частности сведения из российской истории лесов и о вкладе российских ученых в лесные исследования и развитие международного лесного хозяйства.

Чан Дже Ли рассказал о том, почему институт поддержал перевод и издание книги: между Россией и Республикой Кореей на уровне лесных ведомств, научно-исследовательских институтов лесного хозяйства (ВНИИЛМ

и др.) и университетов (Сеульский госуниверситет и МГУЛ) имеются меморандумы о сотрудничестве, а также подчеркнул, что его предшественники начали работу, а он только закончил ее и рад признать, что книга получила такую высокую оценку читателей.

Каждый оратор получил книгу, подписанную авторами с благодарностью за их поддержку при ее подготовке. Затем от авторов выступил В.К. Тепляков с презентацией основных идей, положений и разделов книги и выразил благодарность более чем 100 добровольным помощникам из почти 25 стран, приславшим материалы в процессе написания монографии, а также признательность всем участникам встречи. От секретариата ИЮФРО было сделано сообщение, что книга в полном объеме размещена на веб-сайте организации и доступна для всех пользователей. Состоялась церемония подписания авторами книг для участников.

Следует отметить, что на этой встрече выступающие, а также некоторые другие руководители ИЮФРО подписали обращение к руководителям лесного хозяйства и лесной промышленности России. В нем они отметили вклад авторов книги и признали важность ее публикации на английском языке, что дало возможность широкому кругу лесных исследователей познакомиться с российском лесной наукой и практикой.

Почти весь привезенный на съезд тираж книги был востребован: как вручен персонально, так и передан в библиотеки ведущих вузов и научно-исследовательских институтов различных стран.

Мероприятие было представлено в средствах социальной информации, отражено в Ежедневных новостях съезда ИЮФРО за 20 сентября 2017 г.

Закрытие съезда состоялось на пленарном заседании 22 сентября 2017 г. Были оглашены главные предложения по его итогам; проведена процедура вручения наград ИЮФРО («За выдающиеся заслуги» и «Специальное признание»); продемонстрированы видеопрезентация места проведения и приглашение принять участие в работе XXV Всемирного конгресса ИЮФРО в 2019 г. в Куритибе (Бразилия).

Юбилейный съезд во Фрайбурге показал некоторую положительную динамику участия представителей России в этом основном мероприятии ИЮФРО, что вызывает надежду на дальнейшее укрепление позиций нашей страны в деятельности Союза.

В.К. Тепляков, В.С. Шалаев

Институт системных исследований леса – Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

UDC 630*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.139

125 Years of IUFRO!

V.K. Teplyakov, V.S. Shalaev

Institute of System Forest Research, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University

For citation: Teplyakov V.K., Shalaev V.S. 125 Years of IUFRO! *Lesnoy zhurnal*, 2018, no. 1, pp. 139–142. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.139



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.143

ПРОФЕССОРУ БОГДАНОВИЧУ НИКОЛАЮ ИВАНОВИЧУ – 75 ЛЕТ



Научно-педагогическая школа доктора технических наук, профессора Н.И. Богдановича вносит существенный вклад в подготовку высококвалифицированных кадров в Северном (Арктическом) федеральном университете им. М.В. Ломоносова (САФУ).

Николай Иванович родился 13 января 1943 г. в Белоруссии. В юности получил несколько рабочих специальностей, служил в рядах Советской армии. В 1969 г. окончил химико-технологический факультет Ленинградской лесотехнической академии (квалификация – инженер-технолог по химической переработке древесины), в 1973 г. успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Интенсификация процесса сушки и пиролиза крупнокусовой древесины» и был приглашен на кафедру лесохимических производств

Архангельского лесотехнического института (позднее АГТУ, САФУ), где он трудится и в настоящее время. Ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор (с 1992 г.), заведующий кафедрой лесохимических производств (1996–2016 гг.), профессор кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств – послужной список Н.И. Богдановича.

Диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по теме «Ресурсосбережение и повышение экологической безопасности предприятий химико-лесного комплекса с применением методов пиролиза» он защитил в 1999 г. одновременно по двум специальностям (Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов; Технология и оборудование химической переработки древесины; химия древесины).

Им осуществлены исследования совместно с ведущими предприятиями и научными учреждениями: Архангельский, Соломбальский и Байкальский целлюлозно-бумажные комбинаты, Архангельский опытный водорослевый комбинат, Корпорация «Росхимзащита», АО «Карбохим» (Сявский ЛХЗ), Ашинский ЛХЗ, ЦНИЛХИ, ВНПОбумпром, Институт химии древесины Латвийской АН, Белорусский государственный университет, ООО НТЦ «Химинвест», НПО «Неорганика». С некоторыми из них сотрудничество продолжается. Николай Иванович не только участвовал в реализации Федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники», но и с 1992 по 1998 г. являлся руководителем одного из ее направлений.

Научные труды Н.И. Богдановича известны широкому кругу специалистов в области технологии пиролиза древесины, синтеза углеродных адсорбентов и охраны окружающей среды, т. е. на стыке трех отраслей знаний. Свидетельство признания трудов – его участие в работе нескольких диссертационных советов, в том числе и в САФУ. Н.И. Богданович – действительный член Академии проблем качества, член Научного совета по адсорбции и хроматографии РАН, академик Международной академии наук экологии и безопасности человека.

Николай Иванович – постоянный член редколлегии, автор и рецензент Лесного журнала, а также Вестника Белорусского технологического университета. Его статьи посвящены самым актуальным вопросам химической технологии древесины и экологии, их отличает насыщенность, подробное обсуждение результатов, точность и аргументированность выводов.

Под его руководством защищено 10 кандидатских диссертаций, одна подготовлена к защите. Выступал оппонентом 8 докторских диссертаций, многократно – кандидатских, являлся руководителем дипломных и магистерских квалификационных работ.

Н.И. Богданович принимает активное участие в международных конференциях и симпозиумах, более половины из которых проходят за рубежом. Имеет более 550 научных публикаций, наиболее известные из них: Комплексная химическая переработка древесины: учеб. для вузов (2002, 2003, 2006); Расчеты в планировании эксперимента (1978, 2008); Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие (2010); Теоретические основы адсорбции: учеб. пособие (2015). В последнее время подготовлены монографии: Контроль и управление качеством лесохимической продукции (2013); Экология северных территорий (2014); Бетулин: получение, применение, контроль качества (2015) и др.

Н.И. Богданович – талантливый ученый, педагог и умелый руководитель. Постоянно получает благодарности от организаторов научных конференций и студенческих конкурсов, в которых его ученики становятся победителями. Студенты, аспиранты и коллеги относятся к нему с глубоким уважением, отмечают лекторское мастерство, строгость и требовательность, обширные знания, исключительное трудолюбие. Всем, кто общается с Николаем Ивановичем, импонирует его доброжелательность, надежность и оптимизм. Он высоко ценит дружбу, искренность и отзывчивость во взаимоотношениях.

Его труд отмечен наградами (заслуженный работник высшей школы РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, медаль «Ветеран труда», знаки «Изобретатель СССР», «Отличник изобретательства», «Победитель соцсоревнования» и др.) и грамотами Администрации Архангельской области и Архангельского областного собрания депутатов.

Коллеги, студенты и выпускники поздравляют с юбилеем Николая Ивановича Богдановича и от всего сердца желают ему крепкого здоровья, благополучия и новых творческих успехов.

В.И. Мелехов, С.И. Третьяков, Н.А. Макаревич, Н.А. Кутакова, Я.В. Казаков
Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.143

75th Anniversary to Professor Nikolai I. Bogdanovich

V.I. Melekhov, S.I. Tret'yakov, N.A. Makarevich, N.A. Kutakova, Ya.V. Kazakov
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov



НЕКРОЛОГ

DOI: 10.17238/issn0536–1036.2018.1.145

ПАМЯТИ ИГОРЯ ИВАНОВИЧА МИНКЕВИЧА



27 сентября 2017 г. ушел из жизни Игорь Иванович Минкевич – крупный ученый в области фитопатологии, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой фитопатологии и древесиноведения Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова.

Он родился 10 октября 1931 г. в Ленинграде в семье ученых-медиков, работавших в Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова. В начале Великой Отечественной войны родители вместе с ним были эвакуированы в Самарканд, но отсутствие приборов и оборудования не позволило проводить научные исследования по микробиологии, и семья вскоре снова переехала в Ленинград.

В 1949 г. Игорь Иванович закончил в разрушенном Ленинграде школу и успешно сдал экзамены на лесохозяйственный факультет Лесотехнической академии им. С.М. Кирова (ЛТА, ныне СПбГЛТУ). В 1954 г. получил диплом с отличием и был направлен инженером-инспектором по приписным лесам в Кронштадт, через год переведен в Трест лесной авиации на должность инженера-таксатора. Работал в лесоустроительных экспедициях в лесах Якутии, Иркутской области, по р. Лена и в Карелии. В экспедициях он изучал болезни лесных растений и кустарников.

В 1960 г. поступил в аспирантуру при Всесоюзном институте защиты растений. Результаты исследований болезней лесных растений явились основой его кандидатской диссертации (руководитель – профессор И.И. Журавлев) на тему «Биологическое обоснование мер борьбы с сосудистым микозом дуба в Воронежской области», которую он успешно защитил в Московском лесотехническом институте (1963 г.). После защиты кандидатской диссертации ему поступило предложение остаться в лаборатории прогнозов массовых болезней сельскохозяйственных культур. Вскоре Игорь Иванович получил звание старшего научного сотрудника и возглавил эту лабораторию.

Новое направление в его работе – эпифитотиология. В 1974 г. прошла защита в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова его докторской диссертации на тему «Эпифитотиология инфекционного усыхания древесных пород и меры по ограничению вредоносности болезней» (научный консультант – профессор К.М. Степанов). В апреле 1975 г. Игорь Иванович возгла-

вил кафедру фитопатологии и древесиноведения в ЛТА, где он трудился до последних дней своей жизни.

И.И. Минкевич внес большой вклад в защиту зеленых насаждений Санкт-Петербурга от болезней. Он обследовал почти все административные районы города, выявил болезни и патологии более чем у 20 видов деревьев и 30 видов кустарников, изучил мучнисторосяные и ржавчинные грибы. На основании результатов многолетних исследований зеленых насаждений им предложены методы оздоровления городских посадок и приемы борьбы с отдельными заболеваниями растений. Игорь Иванович также многократно проводил консультации для специалистов управления садово-паркового хозяйства Санкт-Петербурга по вопросам выявления болезней растений и лично устанавливал их возбудителей.

Профессором Минкевичем опубликовано около 300 научных и учебно-методических работ, в том числе 5 монографий, получено несколько патентов на изобретения. Под его руководством защищены 1 докторская и 20 кандидатских диссертаций, более 100 дипломных, магистерских и бакалаврских выпускных квалификационных работ.

За трудовые успехи он отмечен правительственными наградами, имел знак «Изобретатель СССР».

Широко образованный и эрудированный ученый И.И. Минкевич пользовался заслуженным авторитетом среди коллег и студентов, чутко реагировал на сложные проблемы лесохозяйственного факультета и университета в целом. Всю свою жизнь Игорь Иванович посвятил служению лесу, его защите и высшему лесному образованию.

Его многочисленные ученики будут помнить своего учителя и наставника и продолжат начатое им дело.

В.Ф. Ковязин, д-р биол. наук, проф.

Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет им. С.М. Кирова

DOI: 10.17238/issn0536–1036.2018.1.145

In Memory of Igor I. Minkevich

V.F. Kovyazin, Doctor of Biological Sciences, Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov