

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

5/365

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, Скиннскаттеберг)
КОМАРОВА А.М. – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Билей П.В., д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
Богданович Н.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Ефремова С.В., д-р техн. наук, проф. (Республика Казахстан, Алматы)
Залесов С.В., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Камусин А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Кищенко И.Т., д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Кожухов Н.И., д-р экон. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
Куров В.С., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Лупашку Т.Г., д-р хим. наук, проф., акад. АНМ (Республика Молдова, Кишинев)
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)
Тельшева Г.М., д-р хим. наук, проф. (Латвия, Рига)
Усольцев В.А., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
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)
Энгельманн Х.-Д., д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

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

5/365

2018

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

EDITORIAL BOARD:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Biley P.V., Doctor of Engineering, Prof., Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
Bogdanovich N.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Efremova S.V., Doctor of Engineering, Prof. (Republic of Kazakhstan, Almaty)
Zalesov S.V., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Lupascu T.G., Doctor of Chemistry Sciences, Prof., Member of the Academy of Sciences of Moldova (Republic of Moldova, Chisinau)
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)
Telysheva G.M., Doctor of Chemistry, Prof. (Latvia, Riga)
Usol'tsev V.A., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
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

М.Д. Мерзленко. Знаменательные даты в истории «Лесного журнала»..... 9

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.К. Тепляков, В.С. Шалаев.</i> «Лесной журнал» и Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО).....	13
<i>N.A. Demidova, G. Eriksson.</i> Genetic Variation in Growth Characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> L. Grown under Controlled Conditions.....	26
<i>Б.В. Бабиков.</i> Гидрологическая роль болот и водное питание рек.....	38
<i>А.П. Царев.</i> Многообразие использования древесины тополей.....	48
<i>А.В. Жигунов, А.С. Бондаренко.</i> Возраст оценки генетических свойств деревьев ели европейской в испытательных культурах.....	65
<i>Е.Н. Наквасина, Н.А. Прожерина, А.В. Чупров, В.В. Беляев.</i> Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте.....	82
<i>Ф.Н. Дружинин, Ю.И. Макаров, Д.М. Корякина.</i> Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений.....	94
<i>А.В. Семенютина, А.С. Соломенцева.</i> Рост и фенологическое развитие интродуцированных видов шиповников (<i>Rosa</i> L.) в условиях Волгоградской области.....	105
<i>Н.М. Дебков.</i> Влияние уссурийского полиграфа на онтогенетическую структуру пихтовых лесов Западной Сибири.....	116

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Д.Г. Мясищев, Д.Б. Яхьяев, В.С. Морозов.</i> Оценка процесса измельчения напочвенного покрова струной.....	126
<i>С.Н. Орловский.</i> Измельчение малоценной древесины при рубках ухода.....	135

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ш.Г. Зарипов.</i> Режимы сушки лиственничных пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия.....	151
<i>К.П. Рукомытников, Е.М. Царев, С.Е. Анисимов, О.Н. Черемушкина.</i> Совершенствование конструкции лесопильного станка для продольной распиловки лесоматериалов.....	161
<i>О.А. Куницкая, С.С. Бурмистрова, Е.Г. Хитров, А.Н. Минаев.</i> Математическое моделирование процесса пропитки древесины в пьезопериодическом поле.....	168

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский, А.Н. Романова, Я.В. Казаков, Д.А. Дулькин. Регулирование влаготочности картона обработкой биомодифицированным глютенном.....* 181
-



CONTENTS

M.D. Merzlenko. Significant Dates in the History of Lesnoy Zhurnal..... 9

FORESTRY

<i>V.K. Teplyakov, V.S. Shalaev.</i> Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal) and International Union of Forest Research Organizations (IUFRO).....	13
<i>N.A. Demidova, G. Eriksson.</i> Genetic Variation in Growth Characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> L. Grown under Controlled Conditions.....	26
<i>B.V. Babikov.</i> The Hydrological Role of Wetlands and Water Supply of Rivers.....	38
<i>A.P. Tsarev.</i> The Diversity of Use of Poplar Wood.....	48
<i>A.V. Zhigunov, A.S. Bondarenko.</i> Age of Assessment for the Norway Spruce Genetic Properties in Progeny Tests.....	65
<i>E.N. Nakvasina, N.A. Prozherina, A.V. Chuprov, V.V. Belyaev.</i> Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient.....	82
<i>F.N. Druzhinin, Yu.I. Makarov, D.M. Koryakina.</i> Certification as a Means of Monitoring of the Most Valuable Arboreal Plants and Shrubs.....	94
<i>A.V. Semenyutina, A.S. Solomentseva.</i> Growth and Phenological Development of Introduced Wild Rose (<i>Rosa</i> L.) Species in Volgograd Region.....	105
<i>N.M. Debkov.</i> Four-Eyed Fir Bark Beetle Influence on the Ontogenetic Structure of Fir Forests in Western Siberia.....	116

WOOD EXPLOITATION

<i>D.G. Myasishchev, D.B. Yahyayev, V.S. Morozov.</i> Estimation of Grinding the Ground Cover by a String.....	126
<i>S.N. Orlovskiy.</i> Chipping of Low-Value Wood during the Improvement Thinning....	135

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>Sh.G. Zaripov.</i> Schedules of Larch Sawn Timber Drying in Intermittent Kiln.....	151
<i>K.P. Rukomojnikov, E.M. Tsarev, S.E. Anisimov, O.N. Cheremushkina.</i> Design Improvement of a Sawmill Machine for Rip Cutting.....	161
<i>O.A. Kunitskaya, S.S. Burmistrova, E.G. Khitrov, A.N. Minaev.</i> Mathematical Modeling of Impregnation of Wood in Piezo Periodic Field.....	168

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- I.V. Zakharov, N.L. Zakharova, A.V. Kanarskiy, A.N. Romanova, Ya.V. Kazakov, D.A. Dul'kin.* Regulation of Cardboard Wet Strength by Biomodified Gluten Treatment..... 181
-

УДК 630*232

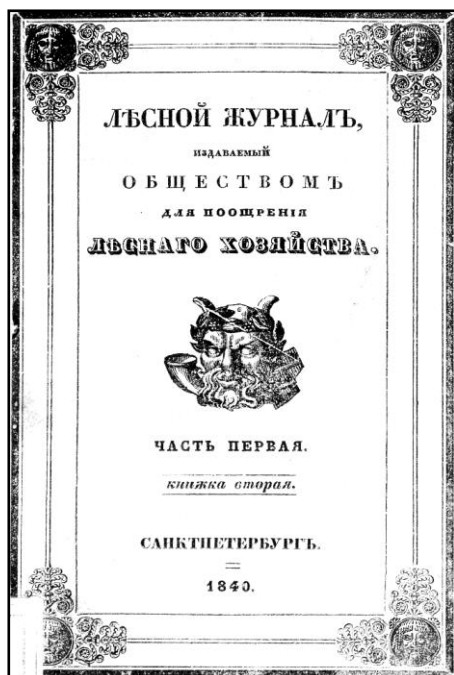
ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЕ ДАТЫ В ИСТОРИИ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»

В 2018 г. в истории «Лесного журнала» две знаменательные даты: 185 лет со дня основания одного из старейших в России журналов и 60 лет со дня его возрождения в серии «Известия высших учебных заведений». На протяжении всего времени функционирования он отражал становление, развитие и успехи лесной науки.

Как первое печатное лесохозяйственное издание «Лесной журнал» был востребован. Он возник в первой половине XIX в. благодаря «Обществу для поощрения лесного хозяйства», основанному по высочайшему утверждению от 25 февраля 1832 г. императора Николая I. В России до XIX в. отраслевых журналов не было, а проблемы лесного дела освещались в общей периодической печати наряду с вопросами литературы, общественной жизни, техники и пр. Все это публиковалось без какой-либо системы и специального отбора. С начала XVIII в. статьи по лесоводственным и лесотехническим направлениям печатались в различных периодических изданиях, таких как: «Календарь, или месяцеслов» и «Сочинения или переводы к пользе и увеселению служащие» (1728–1769 гг.), «Ежемесячные сочинения и известия о ученых делах» и «Сельский житель» (1778 г.), «Экономический магазин» (1780–1789 гг.), «Новые ежемесячные сочинения» и «Технологический журнал» (1768–1826 гг.). Значительный вклад в разработку аграрных проблем, в том числе и по лесному хозяйству, внесли «Труды Императорского вольного экономического общества» (с 1765 г.).

Уже в самом статусе «Общества для поощрения лесного хозяйства» было заложено соображение о необходимости издания особого самостоятельного журнала по части лесного хозяйства. Поэтому 16 декабря 1832 г. на десятом заседании Общества его президент Петр Иванович Полетика предложил по составленному коллежским советником фон Фоком проекту приступить в 1833 г. к изданию «Лесного журнала». По этому поводу была созвана специальная комиссия, положительное решение которой было утверждено 27 января 1833 г. на одиннадцатом заседании Общества, а уже 16 мая 1833 г. цензор А. Крылов дал дозволение к печатанию первого номера. Так зародился «Лесной журнал», в дореволюционной истории которого академик И.С. Мелехов выделял четыре периода.

1833–1844 гг. В этот период журнал издавался «Обществом для поощрения лесного хозяйства». Его редактором был сначала А. Юханцев, а потом – Ланге. Наряду с переводными статьями и заметками в нем было опубликовано много самобытных и оригинальных статей русских авторов. Подбор статей осуществлялся по следующей программе: 1 – лесохозяйственные науки; 2 – лесная статистика и география; 3 – лесоизмерение; 4 – изобретения и открытия; 5 – естественные науки; 6 – садоводство; 7 – наблюдения в Отечестве; 8 – сельское хозяйство; 9 – охота; 10 – критика и библиография; 11 – смесь. В год выходило по 6–12 номеров, общий объем которых достигал 110–120 печатных листов, тираж – 800–1200 экземпляров, а на обложке журнала красовалось изображение древнего итальянского бога Сильвана – хранителя лесов, нив и скотоводства.



в России; 2 – леса и лесоводство в иностранных государствах; 3 – библиография; 4 – смесь. В цели журнала этого периода входило «...распространение в Отечестве понятия о рациональном лесном хозяйстве и возбуждение желания к его изучению». Был поставлен ряд важных лесоводственных как практических, так и научных проблем, указано направление на их решение, что в итоге способствовало прогрессу лесного дела. «Лесной журнал», издаваемый ИВЭО, прервал свое существование в 1851 г. Образовавшийся пробел восполнял ряд периодических изданий, среди которых стоит особо выделить «Газету лесоводства и охоты». Это еженедельное издание выходило сначала под редакцией Ф.К. Арнольда (1855–1857 гг.), затем Н.В. Шелгунова (1858 г.), П. Коноплина (№ 1–22) и Н.М. Зобова (№ 23–52) за 1859 г. Будучи переплетенной по годам издания, «Газета лесоводства и охоты» представляет собой фолианты по 424–624 страниц текста, имеющего энциклопедическое содержание в области лесного дела.

1871–1903 гг. В 1871 г. в Петербурге образовалось Лесное общество, особой заслугой которого явилось возобновление в том же году издания «Лесного журнала». Программа последнего состояла из восьми разделов: 1 – статьи по всем отраслям лесного хозяйства; 2 – влияние законов и обычаев на успехи лесного хозяйства; 3 – лесоторговый отдел, движение лесной торговли в разных местностях, рыночные цены на лесные материалы и т. п.;

Публиковались интересные самобытные статьи фон Левиса, Гаффельдера, Н.Г. Мальгина, А.Е. Теплоухова, графа А.Р. Варгаса де Бедемара. Самым «продуктивным» корреспондентом «Лесного журнала» был старший учитель, а потом профессор лесных законов и лесной статистики, лесоохранения, егерского искусства, энтомологии, зоологии, лесной таксации Лесного института – генерал Корпуса лесничих Виктор Семенович Семенов. Им опубликовано более 60 самых разнообразных статей.

1845–1851 гг. Журнал издавался Императорским вольным экономическим обществом (ИВЭО). Редактором был Ф. Арсеньев, а постоянными сотрудниками – А.А. Длатовский и Ф.К. Арнольд. Программа журнала включала следующие разделы: 1 – леса и лесоводство



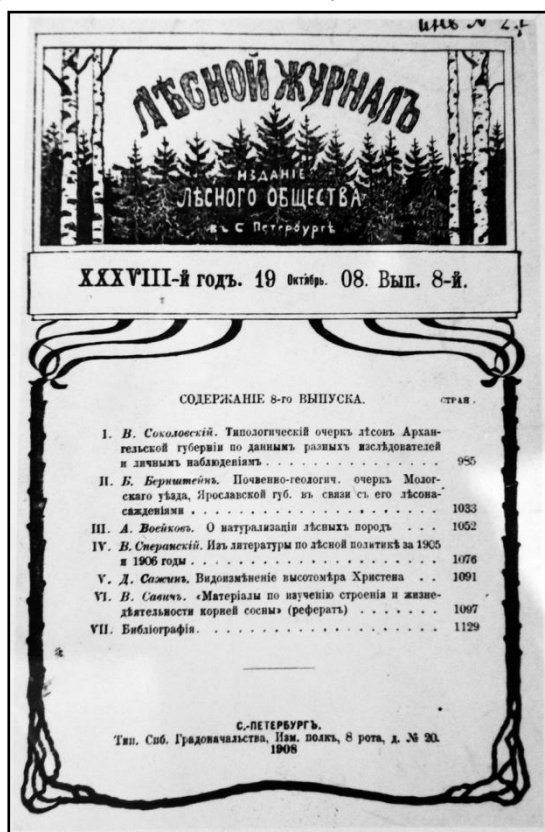
4 – лесоводственная библиография, разбор важнейших русских и иностранных сочинений по лесному хозяйству; 5 – лесная хроника и смесь; 6 – известия о деятельности Лесного общества; 7 – обзор вновь выходящих постановлений по лесному управлению; 8 – объявления, касающиеся предметов лесного хозяйства. Редакторами журнала были Н.С. Шафранов, А.Ф. Рудзкий, Н.С. Нестеров, Л.И. Яшнов и др.

«Лесной журнал» этого периода был сосредоточием русской лесоводственной мысли, боролся за дальнейшее развитие отечественного лесоводства, за внедрение в практику передовой науки и поднимал престиж русского лесничего. Журнал пользовался популярностью не только среди российских лесоводов, но и за границей – в Европе и Америке. Этот период являет собой полное становление отечественной лесной науки в ее практическом применении.

В числе авторов журнала были имена выдающихся российских лесоводов – А.Ф. Рудзкого, Ф.К. Арнольда, В.Т. Собичевского, К.Ф. Тюрмера, В.И. Гомилевского, М.К. Турского, П.И. Жудра и многих других, продвинувших отечественное лесоводство на новые высоты. В конце этого периода выходит ряд работ, связанных с зарождением лесной типологии (статьи И.И. Гуторовича (1897 г.), Н.К. Генко (1902 г.) и др.).

1904–1918 гг. В этот период журнал также издавался Лесным обществом, его редактором был Георгий Федорович Морозов, что наложило своеобразный отпечаток на содержание и значимость журнала в среде лесоводов. Четвертый период по праву можно назвать расцветом «Лесного журнала». На первом месте программы Г.Ф. Морозов поставил пункт «Оригинальные статьи по всем отраслям лесного хозяйства». О сущности значения этого пункта он пояснял, что «...“Лесной журнал” должен обнимать вопросы лесоведения и лесоводства, экономики лесного хозяйства и организации его, наконец, политики лесного хозяйства».

На основе более чем векового опыта ученых и практиков в журнале пестовалось учение о типах насаждений (статьи П.П. Серебrenникова (1904 г.), А.С. Рожкова (1904 г.) и др.). Особо выделяется в этом новом учении статья Г.Ф. Морозова «О типах насаждений и их значении в лесоводстве» (1904 г.), где учение о типах насаждений им подразумевалось как классификационная система лесов. Широко освещались вопросы: лесоведения и лесного опытного дела; о принципах и методах регулирования пользования лесом; обсуждались проблемы социального порядка. Стали появляться рецензии на книги и статьи по



вопросам ботаники, сельского хозяйства и экономики. Все это не замедлило сказаться на проявлении к журналу интереса в широких кругах не только работников леса, но и смежных научных дисциплин. Тираж журнала поднялся к 1915 г. до 2 тыс. экземпляров.

Публиковались интересные статьи М.М. Орлова, Д.Н. Кайгородова, Г.Ф. Морозова, Д.М. Товстолеса, Г.Н. Высоцкого, В.Д. Огиевского, Н.С. Нестерова и многих других замечательных деятелей в области лесной науки и практики. Барон А.А. Крюденер, один из наиболее активных последователей Г.Ф. Морозова, на основе собственных материалов фундаментальных исследований и массового обобщения народных знаний о взаимосвязях между лесом и почвой создал первую научно-обоснованную классификацию типов леса. Она была опубликована в 5-м выпуске журнала за 1914 г. и как монография в 3–5-м выпусках «Материалов по изучению русского леса», являвшихся бесплатным приложением к «Лесному журналу».

В качестве редактора Г.Ф. Морозов выполнял огромнейшую работу: более чем 10 лет он не только руководил изданием «Лесного журнала», но и при отсутствии у Лесного общества средств на приглашение специальных лиц для корректуры, улаживания вопросов по расчету с типографией, оформлению различных документов и т. д. бескорыстно исполнял всю эту черновую работу. С 1906 г. журнал стал выходить 6 раз в год. Однако в тяжелых условиях гражданской войны его выпуск прекратился в 1918 г.

В последующие десятилетия постоянно высказывалась мысль о возрождении «Лесного журнала». И вот в 1958 г. он стал издаваться под своим историческим названием в г. Архангельске Министерством высшего образования СССР в серии «Известия высших учебных заведений». Во многом возрождению журнала во второй половине XX в. мы обязаны действенной инициативе академика Ивана Степановича Мелехова.

В настоящее время, продолжая и развивая лучшие традиции, «Лесной журнал» охватывает научные направления лесного хозяйства, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, охраны окружающей среды, публикует информацию о научных конгрессах, конференциях, совещаниях, размещает рецензии и пр. «Лесной журнал» высоко котируется в научно-педагогической среде и входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных статей соискателей ученых степеней.

Учитывая непреходящую ценность многих ранее опубликованных работ, в 2013 г. Северный (Арктический) федеральный университет выпустил указатель (каталог) статей, изданных в «Лесном журнале» за 1958–2012 гг.

М.Д. Мерзленко, д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр.

Институт лесоведения РАН,
ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл., Россия, 140030;
e-mail: md.merzlenko@mail.ru

UDC 630*232

Significant Dates in the History of Lesnoy Zhurnal

M.D. Merzlenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Research Scientist
Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, s. Uspenskoe,
Odintsovo, Moscow Region, 140030, Russian Federation;
e-mail: md.merzlenko@mail.ru



ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*30

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.13

«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» И МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЛЕСНЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ (ИЮФРО)

В.К. Тепляков, канд. с.-х. наук, проф.

В.С. Шалаев, д-р техн. наук, проф.

Институт системных исследований леса–Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 1-ая Институтская ул., д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: teplyakovv@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

В сентябре 2017 г. прошел юбилейный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), посвященный 125-летию со дня его основания, а через четыре месяца старейшему российскому «Лесному журналу» исполнилось 185 лет. ИЮФРО и «Лесной журнал» создавались с практически одинаковыми задачами: развитие и популяризация лесной науки, образования и практики, информационно-просветительская деятельность в лесном сообществе. Как «Лесной журнал», так и ИЮФРО прошли через определенные этапы развития и временные остановки, причем почти полтора века они шли бок о бок. Несмотря на кажущуюся разность в «возрасте» Журнала и Союза, событийность поводов для их учреждения была практически одинаковой – забота о лесе, лесном образовании и лесных науках. После второго своего возрождения в 1871 г. Журнал уже в первом выпуске предоставил свои страницы для обсуждения вопросов о лесных опытных станциях и лесном опытном деле в России. После создания в 1892 г. ИЮФРО вопросы деятельности Союза часто обсуждались на заседаниях Лесного общества, протоколы которых всегда публиковались в «Лесном журнале». Находили свое отражение в нем и материалы съездов ИЮФРО, например доклад профессора Г.Ф. Морозова об участии в Пятом международном съезде по лесному опытному делу в Штутгарте (Германия). После перерыва, вызванного бурными событиями начала XX в., регулярная работа «Лесного журнала» возобновилась в 1958 г. Это произошло благодаря усилиям профессора И.С. Мелехова, который был членом редколлегии с момента третьего возрождения «Лесного журнала» и до конца своей жизни, а также главным редактором с 1980 по 1993 г. Участие советских организаций и ученых в деятельности ИЮФРО во второй половине XX в. достаточно подробно освещалось в «Лесном журнале» не только в отношении съездов и конгрессов, но и его отдельных, часто судьбоносных, совещаний. Многие статьи, опубликованные «Лесным журналом» с авторством И.С. Мелехова или в соавторстве с ним, были единственными в своем роде не только в СССР, но и в мире. В 1982 г. в его статье к 90-летию Первого съезда ИЮФРО было отмечено, что «...основная цель ИЮФРО, как следует из Устава, развитие международного сотрудничества в области лесных наук, включая не только лесное хозяйство, но и весь цикл лесотехнологических, лесозащитных и других наук, связанных

Для цитирования: Тепляков В.К., Шалаев В.С. «Лесной журнал» и Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 13–25. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.13

с лесом и его продуктами». В последние годы статьи о деятельности ИЮФРО публикуются на страницах Журнала весьма регулярно. «Лесной журнал», являясь флагманом лесной периодической печати Российской империи, СССР и Российской Федерации, на протяжении почти 150 лет освещает тесную связь своих авторов с международным лесным сообществом и его флагманом – ИЮФРО.

Ключевые слова: Лесной журнал, ИЮФРО, сотрудничество.

В сентябре 2017 г. прошел юбилейный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), посвященный 125-летию со дня его основания, а через четыре месяца старейшему российскому «Лесному журналу» исполнилось 185 лет. Необходимо отметить, что как ИЮФРО, так и «Лесной журнал» создавались с практически одинаковыми задачами: развитие и популяризация лесной науки, образования и практики, информационно-просветительская деятельность в лесном сообществе. При этом и «Лесной журнал», и ИЮФРО прошли в своем развитии три этапа, имея две временные остановки: «Лесной журнал» – 1833–1851 гг., 1871–1918 гг. и 1958–наст. вр.; ИЮФРО – 1892–1910 гг., 1929–1936 гг. и 1948–наст. вр. При этом почти полтора века они шли бок о бок. Несмотря на кажущуюся разность в «возрасте» Журнала и Союза, событийность поводов для их учреждения была практически одинаковой – забота о лесе, лесном образовании и лесных науках.

Считается, что мысль о необходимости проведения опытных лесоводственных работ первым высказал в середине 1820-х гг. один из корифеев лесоводства проф. Иоганн Христиан Гундесгаген (1783–1834 гг.), когда рассматривал вопросы единства при составлении нормальных таблиц хода роста насаждений для лесной таксации на новых научных принципах [38]. В 1848 г. проф. Карл Юстус Гейер (1797–1856 гг.) предложил систематизировать подходы в этом вопросе [36, с. 147].

Полагают, что первый реальный толчок к разработке общих подходов в лесных исследованиях сделал в 1868 г. проф. Франц фон Баур (1830–1897 гг.), когда на Международном съезде по сельскому и лесному хозяйству в Вене была образована группа из пяти немецких лесоводов и почвоведов, заинтересованных в разработке плана научно-исследовательских работ [36]. В том же году было выдвинуто предложение об организации лесной опытной станции в Австрии, которое было реализовано позже (в 1875 г.). В 1870 г. была создана первая лесная опытная станция в Бадене, затем такие станции появились в других немецких землях и на своем первом съезде в 1872 г. объединились в Ассоциацию лесных опытных станций Германии¹ [37]. Есть мнение, что началось это чуть раньше, когда в 1861 г. были организованы лесные опытные станции в шести лесничествах Саксонии, в которых велись наблюдения и ставились опыты, не связанные общей идеей [1].

Немецко говорящие страны, в первую очередь Германия, а также Австрия и Швейцария, длительное время были «законодателями мод» в лесном

¹Ассоциация была основана сразу после образования в 1871 г. единого немецкого государства – Германской империи. Тем не менее, как и прежде, каждая станция оставалась представителем интересов того королевства или княжества, на территории которого она находилась.

секторе Европы. Они и создали Международный союз лесных опытных станций для обмена опытом, проведения научных исследований, развития лесной науки и внедрения ее результатов в практику и лесное образование [27].

Вне зависимости от происходящего в Европе, лесная наука и тесно связанное с нею лесное образование и практика самобытно развивались в Российской империи. Начало развитию национального практического лесоводства было положено еще в XVII в. на Урале, где бурно развивалась горнозаводская промышленность. В начале XIX в. в стране зародилось высшее лесное образование², а к середине XIX в. были заложены основы степного лесоводства. Развивалась отечественная лесная периодическая печать. Однако «...лесное ведомство предпочитало питаться иностранными рецептами и схоластическими схемами, оторванными от местных условий. Обстановка, таким образом, не способствовала широкой популяризации достижений русских лесоводов. Но даже в этих неблагоприятных условиях наше отечественное лесоводство развивалось и постепенно становилось на твердую научную основу» [3, с. 62–63].

В России основой лесного опытного дела (ЛОД) были опытные, а позднее учебно-опытные лесничества, которые даже по нынешним критериям оценки научной деятельности были профессиональными научными учреждениями. Результаты опытных работ и практика внедрения приводились не только в отчетах, но и выходили отдельными изданиями, публиковались в периодической печати. Видное место среди печатных органов того времени не только в России, но и в мире, принадлежало «Лесному журналу».

Именно на страницах возрожденного Лесным обществом в 1871 г. «Лесного журнала» уже с первых номеров началось предметное и деятельное обсуждение вопроса развития ЛОД в России, в том числе и необходимости учреждения лесных опытных станций. Из восьми существовавших рубрик (разделов) журнала четвертый был посвящен лесохозяйственной библиографии, разбору важнейших русских и иностранных сочинений по лесному хозяйству. Это было именно то, ради чего был учрежден и начал свою работу будущий ИЮФРО.

Уже в первом номере «Лесного журнала» была помещена заметка профессора Санкт-Петербургского земледельческого института Н.М. Зобова (1822–1873 гг.) [2]. Резюме его статьи: нет необходимости создавать лесные опытные станции (ЛОС), так как каждое лесничество само должно представлять собою опытную станцию. Этот тезис он повторил на I Всероссийском съезде лесовладельцев и лесохозяев (Москва, 1872 г.). На съезде были высказаны и другие мнения в отношении ЛОС. Так, преподаватель Лисинского егерского училища М.К. Турский (1840–1899 гг.) предложил создавать ЛОС сначала при учебных лесных заведениях, единообразные программы для них должен разрабатывать профессорско-преподавательский состав. Съезд признал важность проведения долговременных исследований в лесу, желательность учреждения ЛОС, а также рекомендовал Лесному обществу разработать программу научных работ [21]. На II съезде лесовладельцев и лесохозяев России (Липецк, 1874 г.)

²В мае 2018 г. исполнилось 215 лет со дня основания первого лесного высшего учебного заведения в России и одного из старейших в мире – Лесного института, преемником которого является Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова.

была принята резолюция об учреждении «образцовых лесничеств для распространения полезных знаний по лесоводству» [1, с. 95].

Следуя параллельным курсом с Германией в области ЛОД, тем не менее, отечественные лесоводы видели большие различия в подходах к его организации и методам работы в России. В 1873–1874 гг. вопрос о необходимости ЛОС обсуждался на заседаниях Лесного общества и отражался в протоколах, публикуемых «Лесным журналом». Будущий профессор А.Ф. Рудзкий (1838–1901 гг.) в письме Лесному обществу (1873 г.) отмечал, что нужны не столько сами ЛОС, сколько отдельные работы по самым существенным вопросам современной лесохозяйственной практики, и работы эти следует проводить силами местных лесничих. Ему возражал старший таксатор Э.И. Шенрок, полагавший, что изменение круга обязанностей местных лесничих ни к чему не приведет. Подчеркивая важность систематических действий в соответствии с планом хозяйства, он считал, что следует создавать не ЛОС, а образцовые лесничества [35]. При обсуждении М.К. Турский пытался объединить эти подходы путем разделения опытов на две категории по месту выполнения – в опытном лесничестве или на опытной станции. В результате «...Лесное общество признало устройство таких станций нежелательным» [21, с. 206].

Публикации на тему ЛОС появились еще в 1873 г., до Международного съезда по сельскому и лесному хозяйству в Вене, на котором было рекомендовано правительствам приступить к развитию лесных исследований, скоординировать международные усилия в ЛОД, в частности по изучению взаимоотношений леса и климата. «Лесной журнал» освещал не только работу съездов, но и дискуссию о ЛОД и ЛОС. На основании решений съездов в Москве (1872 г.), Вене (1873 г.) и Липецке (1874 г.) Лесной департамент России в 1875 г. поручил Петровской сельскохозяйственной и лесной академии составить предложения об организации ЛОС при академии.

В России инициатором обсуждения и ярким сторонником учреждения ЛОС был проф. В.Т. Собичевский (1838–1913 гг.). Он считал, что успех лесных научных исследований во многом зависит от долговременных наблюдений на стационарных опытных участках, расположенных на специально учрежденных ЛОС. Для обеспечения сопоставимости результатов необходимо было установить единство в методах исследований и в планах их организации. Важным он считал и преемственность поколений не только в лесном хозяйстве, но и в лесном опытном деле [22]. «Лесной журнал» в 1876 г. опубликовал три работы по данной теме: проф. Н.С. Шафранова (1844–1903 гг.) для Земледельческого института [34], его брата А.С. Шафранова, преподавателя математики в Лисинском училище, для училища [33] и проф. В.Т. Собичевского для Петровской академии [23].

Позднее появилась работа, логично обосновавшая различия в этих подходах: лучше опытные лесничества, чем лесные опытные станции [12, 13, 20]. В учебных лесничествах России опыты и научные исследования не прекращались с момента их организации, а вот учреждение ЛОС, находящихся в ведении лесной администрации, несколько затянулось. В зарубежных странах ЛОС были созданы в Австрии (Мариабрунн, 1875 г.), Франции (Нанси, 1882 г.), Японии (Нишигахара в 1882 г. плюс еще 8 станций в 1897 г.), США (Калифорния в 1887 г. плюс еще 7 станций в течение 1908–1913 гг.), Швейцарии (Цюрих,

1888 г.), Венгрии (Селмешбанё, 1898 г.), Дании (Копенгаген, 1901 г.), Швеции (Стокгольм, 1902 г.), Италии (Флоренция, 1910 г.) и других странах [27].

Отражением динамики процесса образования ЛОС стали многочисленные публикации 1890-х гг. в «Лесном журнале» материалов о ЛОС за границей, в которых авторы выражали пожелание более широкой организации ЛОД в России [15–19]. Неподдельный интерес к зарубежным ЛОС был вызван тем, что ЛОД раньше, чем за границей, стало развиваться в России на объектах учебных лесничеств и опытных дач. Разные толкования сути ЛОС, управления ими, ведения самих исследований были не совсем понятны русским лесоводам: зачем нужны опытные станции, если есть учебные или опытные лесничества (дачи)?

Решение организационных вопросов, в том числе и в отношении типа, структуры или характера лесных исследований, определяется не только нуждами, но и культурой в широком смысле слова той страны, в которой уже есть или только организуется ЛОД. В России это выражается проявлением государственного интереса к тому или иному предприятию. Например, государство активно стало организовывать опытные лесничества после засухи начала 1890-х гг. Именно к этому периоду Г.Ф. Морозов относит начало ЛОД в России (1892 г.), т. е. ко времени Особой экспедиции Лесного департамента. Тогда были образованы три казенных опытных лесничества – Мариупольское, Деркульское и Каменно-Степное, для которых, вкупе с имевшимися казенными лесничествами (Шиповым лесом и Хреновским бором), составлялся план опытных работ [11, с. 324].

Фактически эти станции были учреждены и находились в ведении Лесного департамента страны, в то время как из 12 ЛОС в Германии, Австрии, Швейцарии и Франции в ведении высших лесных учебных заведений находилось 9, Центрального лесного управления – 2, числилась самостоятельной – 1 [20]. В связи с этим вопрос выглядит так, словно учебные и опытные лесничества лесных школ России остались как бы вне системы лесного опытного дела.

Спустя почти 20 лет после обсуждения вопроса об учреждении ЛОС в России, проф. М.М. Орлов в своей работе «Проект организации лесного опытного дела в России» отмечал целесообразность организации ЛОС при лесных вузах. Институт должен сам разрабатывать программу опытных работ, которую бы утверждал специальный по лесной части Комитет [20].

Такая постановка вопроса позднее была выражена Г.Ф. Морозовым фразой о том, что только в опытных лесничествах и на лесных опытных станциях «...лесоводы-профессора высших учебных заведений сохранили бы живительную связь с лесной действительностью..., студенты же лесоводства приучались бы научно мыслить и научно работать в лесу» [11, с. 326–327]. Как положительный факт проф. Морозов отмечал, что русское лесное опытное дело, по сравнению с немецким, с самого начала не грешило односторонностью, и коренным отличием было наличие «местных станций, где исследователь может изучать природу на месте в течение круглого года» [11, с. 325].

Многие лесоводы того времени рассматривали лесные вузы как главные, а подчас и единственные организации в лесохозяйственной науке. Среди противников развития в России ЛОД, как ни странно, можно назвать одного из наиболее ярких исследователей того времени А.Н. Соболева (1871–1911 гг.), который считал, что «...задачи опытного дела разделяются на две части: во-первых, оно должно улучшать современное хозяйство и, во-вторых, имеет целью двигать вперед лесоводство как науку. Улучшение хозяйства естественно

поставлено впереди прогресса науки, так как лесная наука, насколько она нам нужна при настоящем положении лесного дела в России, уже разработана в западных государствах, и нам нечего вбивать заколоченный гвоздь, а можно поучиться у соседей, улучшение же хозяйства насущно необходимо вследствие быстрого общего развития нашей империи» [24, с.10]. Тем не менее А.Н. Соболев за свою короткую жизнь внес большой вклад в развитие лесной науки и практики в России, в частности заложил множество участков географических культур сосны, дуба и лиственницы по схемам ИЮФРО [10].

После Международного съезда по сельскому и лесному хозяйству, проходившего в начале сентября 1890 г. в Вене, началась серьезная подготовка к учреждению Международного союза (ассоциации) ЛОС. Выработанный 18 сентября 1891 г. в Баденвайлере (Германия) проект Устава был принят на учредительном съезде Союза 17 августа 1892 г. в Эберсвальде, небольшом городе, расположенном в 60 км к северо-востоку от Берлина. Согласно принятым в то время представлениям о международных организациях, будущий ИЮФРО был основан как межправительственная структура: ее членами были государства, представленные лесными исследовательскими учреждениями. I съезд новой организации состоялся 10–16 сентября 1893 г. в пригороде Вены – Мариабрунне. Российские ученые были приглашены, но не приняли участия, так как стране, где ликвидировались последствия страшного голода 1891–1892 гг., было не до международных съездов. На II съезде (1896 г.) Россию представлял статский советник В.А. Тихонов (1849–1913 г.), вице-директор Лесного департамента, который подал заявку от России на вступление в эту международную организацию [25]. Во всех последующих до Первой мировой войны съездах (1900, 1903, 1906 и 1910 гг.) постоянно участвовал профессор Г.Ф. Морозов (1867–1920 гг.), возглавлявший немногочисленные делегации от России [26].

Вопросы деятельности ИЮФРО часто обсуждались на заседаниях Лесного общества, протоколы которых всегда публиковались в «Лесном журнале». Находили свое отражение и материалы со съездов ИЮФРО. Например, профессор Г.Ф. Морозов докладывал о наиболее значимых событиях на съездах ИЮФРО. Достаточно подробный доклад о его участии в V международном съезде по лесному опытному делу в Штутгарте (Германия) был размещен на страницах «Лесного журнала» в 1906 г. [14].

Работа ИЮФРО сначала была прервана Первой мировой войной до 1929 г., когда в Швеции прошел VII съезд, после которого состоялось еще два съезда (1932 и 1936 г.), а затем и Второй мировой войной (1939–1945 гг.) и возобновилась лишь в 1948 г. на X съезде в нейтральной во время войны Швейцарии. Выпуск «Лесного журнала» также был прерван в 1918 г. Гражданской войной в России и возобновился только в 1958 г. стараниями профессора И.С. Мелехова, члена редколлегии с момента третьего возрождения журнала и до конца своей жизни, главного редактора журнала с 1980 по 1993 г. Участие советских организаций и ученых в деятельности ИЮФРО во второй половине XX в. достаточно подробно освещалось на страницах «Лесного журнала» не только в отношении съездов и конгрессов, но и его отдельных, часто судьбоносных, совещаний [9].

Академик И.С. Мелехов отмечал, что его первое знакомство с ИЮФРО состоялось во время его учебы в Ленинградской лесотехнической академии на лекции профессора Н.П. Кобранова (1883–1942 гг.) – участника VII съезда

ИЮФРО в Швеции (1929 г.) [1]. Сам же он впервые принял участие в XIII съезде в Вене (1961 г.), где сделал доклад «Комплексное изучение природы сплошных вырубок и формирующихся на них лесов». Он также был официальным представителем СССР на заседаниях Международного совета, высшего органа ИЮФРО между съездами. Свои впечатления о съезде и экскурсиях И.С. Мелехов в том же году отразил в статье для «Лесного журнала» [9].

На XIV съезде ИЮФРО в Мюнхене (1967 г.) в отечественную делегацию входили П.В. Васильев (Москва, ВНИИЛМ), И.С. Мелехов (Москва, МЛТИ) и Е.С. Павловский (Гослесхоз СССР). На этом съезде академик И.С. Мелехов выступил с докладом «Динамическая типология леса» и был избран в состав Постоянного комитета [4]. На следующем XV съезде в американском Гейнсвилле (1971 г.) И.С. Мелехов (ВАСХНИЛ) был руководителем советской делегации, в которую входили также Н.А. Моисеев (Гослескомитет СССР) и Н.Г. Коломиец (Институт биологии СО АН СССР), и был избран членом Исполкома ИЮФРО (бюро) по странам Центральной и Восточной Европы [8]. На этом посту он оставался до съезда в Осло (1976 г.).

Следует отметить, что И.С. Мелехов в 1971–1976 гг. был членом отборочного комитета по присуждению награды ИЮФРО «За научные достижения», учрежденной в 1971 г. Он рекомендовал включить доктора наук А.С. Исаева (Институт леса и древесины СО АН СССР, Красноярск) в число из более чем 40 претендентов на эту награду. В 1976 г. эта награда была присуждена А.С. Исаеву в числе других 5 лауреатов.

Участие в руководящих органах ИЮФРО позволяло И.С. Мелехову держать руку на пульсе мировой лесной науки, так как Союз был и остается ведущей всемирной организацией лесных исследователей. «Конгрессы ИЮФРО, так же, как и мировые лесные конгрессы, дают много ценной информации, позволяющей судить о мировом уровне развития различных разделов лесной науки и практики, что в целом способствует ускорению развития научно-технического прогресса. Вместе с тем, участие в них ученых нашей страны позволяет шире популяризировать достижения нашей страны в различных областях лесной науки» [7]. Отрадно отметить, что практически все значимые материалы мероприятий ИЮФРО, в которых академику И.С. Мелехову доводилось участвовать, находили отражение в опубликованных статьях, в основном в возрожденном им «Лесном журнале» [28].

Кроме того, многие статьи с его авторством или в соавторстве с ним, опубликованные «Лесным журналом», были единственными в своем роде не только в СССР, но и в мире. Так случилось, например, в год 90-летия I съезда ИЮФРО [7]. В статье, в частности было отмечено, что «...основная цель ИЮФРО, как следует из Устава, развитие международного сотрудничества в области лесных наук, включая не только лесное хозяйство, но и весь цикл лесотехнологических, лесозащитных и других наук, связанных с лесом и его продуктами» [7, с. 127–128].

В год 100-летнего юбилея ИЮФРО особое внимание в «Лесном журнале» уделялось не только самой дате [5], но и отдельным аспектам деятельности ИЮФРО в области древесиноведения и сушки древесины [30], а также в вопросах лесостроительства и лесопромышленности [31]. В журнале отражалась общая ситуация с многочисленными международными конференциями, проводимыми в рамках юбилейных торжеств. Кроме того, в «Лесном журнале» постоянно

печатались и другие материалы об ИЮФРО: об участии представителей нашей страны в деятельности ИЮФРО [32], рецензия на книгу об ИЮФРО и России [6], о 125-летнем юбилее ИЮФРО [29].

Заключение

Лесное хозяйство давно вступило в эпоху больших юбилеев отдельных личностей, институтов и международных организаций. В сентябре 2017 г. прошел юбилейный конгресс ИЮФРО, посвященный 125-летию со дня его учреждения, а спустя четыре месяца, в январе 2018 г. старейшему российскому «Лесному журналу» исполнилось 185 лет.

Несмотря на кажущуюся разность в «возрасте» Журнала и Союза, предпосылки для их учреждения были практически одинаковые – забота о лесе, лесном образовании и лесных науках.

Целевая направленность деятельности «Лесного журнала» и ИЮФРО совпадает, как всегда сходились цели и задачи национального и международного лесного хозяйства, в первую очередь по таким аспектам, как развитие лесной науки, образования, практики, информационно-просветительская деятельность всех лесных специалистов на благо леса и общества.

«Лесной журнал» и ИЮФРО прошли каждый в своем развитии по три этапа, имея по две временные остановки: «Лесной журнал» – 1833–1851 гг., 1871–1918 гг., 1958–наст. вр.; ИЮФРО – 1892–1910 гг., 1929–1936 гг., 1948–наст.вр. При этом почти полтора века, считая с момента первого обсуждения необходимости организации лесного опытного дела и создания лесных опытных станций, они шли бок о бок в одном направлении.

За время своего существования и развития «Лесной журнал», став несомненным флагманом лесной периодической печати в Российской империи, СССР и Российской Федерации, на протяжении почти 150 лет поддерживает и освещает тесную связь своих авторов с международным лесным сообществом и его флагманом – ИЮФРО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бейлин И.Г.* Очерки по истории лесных обществ дореволюционной России. М.: Гослесбумиздат, 1962. 158 с.
2. *Зобов Н.М.* Об учреждении лесных опытных станций в России // Лесн. журн. 1871. Вып. 1. С. 19.
3. *Мелехов И.С.* Очерк развития науки о лесе в России. М.: АН СССР. 1957. 207 с.
4. *Мелехов И.С.* Международный союз лесных исследовательских организаций (IUFRO), Сессия Постоянного и Расширенного комитетов // Лесн. журн. 1968. № 5. С. 171–174. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Мелехов И.С.* 100 лет ИЮФРО (IUFRO) // Лесн. журн. 1992. № 5. С. 3–8. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Мелехов В.И., Бабич Н.А.* Интересная и полезная книга // Лесн. журн. 2016. № 2. С. 151–152. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Мелехов И.С., Моисеев Н.А.* 90 лет ИЮФРО (IUFRO) // Лесн. журн. 1982. № 4. С. 127–131. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Мелехов И.С., Моисеев Н.А., Коломиец Н.Г.* XV конгресс IUFRO // Лесн. журн. 1972. № 2. С. 168–171. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Мелехов И.С., Чертовской В.Г.* XIII конгресс Международного союза лесных научно-исследовательских организаций (ИЮФРО) // Лесн. журн. 1961. № 6. С. 167–171. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Выдающиеся лесоводы-лесокультурники России: Биографический справочник. Архангельск: АГТУ; МГУЛ, 2005. 148 с.
11. Морозов Г. Лесные опытные станции // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства и соприкасающихся с ним наук: в 12 т. СПб: Изд. Девриена, 1901. Т. 5. С. 317–327.
12. Морозов Г.Ф. К вопросу о направлении деятельности опытных лесничеств // Лесн. журн. 1903. Вып. 5. С. 1293–1295.
13. Морозов Г.Ф. К вопросу об образовании опытного лесничества в Брянских лесах // Лесн. журн. 1906. Вып. 3. С. 283–293.
14. Морозов Г.Ф. О результатах 5-го международного съезда по лесному опытному делу в Штутгарте // Лесн. журн. 1906. Вып. 9–10. С. 1066–1069.
15. Огиевский В.Д. Баварская лесная опытная станция // Лесн. журн. 1895. Вып. 1. С. 65–83.
16. Огиевский В.Д. Прусская лесная опытная станция // Лесн. журн. 1895. Вып. 2. С. 174–196.
17. Огиевский В.Д. Лесное опытное дело в Австрии // Лесн. журн. 1895. Вып. 4. С. 490–521.
18. Огиевский В.Д. Французская лесная опытная станция // Лесн. журн. 1895. Вып. 5. С. 595–614.
19. Огиевский В.Д. Испытание качества семян на Саксонской контрольной станции // Лесн. журн. 1896. Вып. 4. С. 839–849.
20. Орлов М.М. Проект организации лесного опытного дела в России // Лесн. журн. 1896. Вып. 3. С. 547–556.
21. Орлов М.М. Очерки по организации лесного опытного дела в России. Петроград: Тип. М.А. Александрова, 1915. 271 с. (Тр. по лесному опытному делу в России. Вып. LVII).
22. Собичевский В.Т. Обзорение по лесоводству // Русское сельское хоз-во. 1869. Т. 1. 84 с.
23. Собичевский В.Т. К вопросу об устройстве в России опытных лесных станций (Извлечение из предположений, одобренных Советом Петровской Земледельческой и Лесной Академии) // Лесн. журн. 1876. Вып. 5. С. 47–56.
24. Соболев А.Н. Об организации лесного опытного дела в России. СПб., 1908. С. 10.
25. Тепляков В.К., Шалаев В.С. Василий Андреевич Тихонов (1849–1913) // Устойчивое лесопользование. 2017. № 1(49). С. 44–46.
26. Тепляков В.К., Г.Ф. Морозов и Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. (Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г.) / под. ред. В.М. Гедьо. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. Т. 1. С. 158–161.
27. Тепляков В.К., Шалаев В.С. История съездов ИЮФРО и Россия. В 2 т. Т. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГУЛ, 2015. 469 с.
28. Тепляков В.К., Шалаев В.С. Иван Степанович Мелехов и ИЮФРО // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2016. Т. 20, № 5. С. 17–20.
29. Тепляков В.К., Шалаев В.С. ИЮФРО – 125 лет! // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 139–142. (Изв. высш. учеб. заведений).
30. Уголев Б.Н. III международная конференция ИЮФРО по сушке древесины // Лесн. журн. 1992. № 5. С. 119–120. (Изв. высш. учеб. заведений).
31. Чуенков В.С., Агеенко А.С. Международная конференция ИЮФРО // Лесн. журн. 1992. № 5. С. 117–118. (Изв. высш. учеб. заведений).
32. Шалаев В.С., Тепляков В.К. Анализ участия отечественных представителей в съездах и конгрессах ИЮФРО // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 9–20. (Изв. высш. учеб. заведений).
33. Шафранов А.С. Еще к вопросу об устройстве опытных лесных станций // Лесн. журн. 1876. Вып. 6. С. 55–57.
34. Шафранов Н.С. К вопросу об устройстве в России опытных лесных станций // Лесн. журн. 1876. Вып. 2. С. 86–94.

35. Шенрок Э.И. Заметки с заседания Санкт-Петербургского Лесного общества от 19 мая 1874 г. // Лесн. журн. 1876. Вып. 2. С. 55–102.

36. Fernow B.E. A Brief History of Forestry in Europe, the United States and other Countries. Canada: Univ. Press. Toronto, 1911. 506 p. Режим доступа: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/64516#page/462/mode/1up> (дата обращения: 21.09.2018).

37. Hesse F. German Forestry. New Haven, CT: Yale University Press, 1938. 342 p.

38. Hundeshagen J.Ch., Miller Ph. Die Forstabschätzung auf neuen, wissenschaftlichen Grundlagen nebst einer Charakteristik und Vergleichung aller bisherigen Forsttaxations-Methoden. In 2 Abtl. Tübingen, 1826. 429 s.

Поступила 16.03.18

UDC 630*30

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.13

Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal) and International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)

V.K. Teplyakov, Candidate of Agricultural Sciences, Professor

V.S. Shalaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Forest System Research Institute, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi-5, Moskovskaya obl., 141005, Russian Federation; e-mail: teplyakovv@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

The International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) turned 125 years. Anniversary Congress was held in September 2017. Four months later, the oldest Russian “Lesnoy Zhurnal” (Forestry Journal) turned 185 years. IUFRO and “Lesnoy Zhurnal” were established with the similar objectives. They are development and popularization of forest science, education and practice, and outreach activities in the forest community. Both “Lesnoy Zhurnal” and IUFRO went through certain developmental stages and temporary halts. What is more, for almost one century and a half, they have been moving side by side. The eventfulness of reasons for their establishment was rather similar despite the age difference between the Journal and the Union. The reasons were forest protection, forest education and forest sciences. The discussion on forest experiment stations and forest experimentation in Russia was published in the first issue just after the Journal’s second revival in 1871. The Union activities were often discussed at the forest community meetings since the IUFRO establishment in 1892. “Lesnoy Zhurnal” had always published the Minutes of the meetings. IUFRO congress materials also had been included in the Journal, for instance, the report of Professor G.F. Morozov on his participation in the 5th Congress of the International Union of Forest Experiment Stations that was held in Stuttgart (Germany). The regular work of “Lesnoy Zhurnal” after the halt caused by the turbulent events in the beginning of the 20th century was resumed in 1958. This had taken place within the efforts of Professor I.S. Melkhov, who was a member of the Journal’s editorial board from its third revival for the rest of his life and an Editor-in-Chief from 1980 until 1993. The participation of Soviet organizations and scientists in the IUFRO activities in the second half of the 20th century was covered in detail in relation to the congresses and also distinct, often fateful meetings by “Lesnoy Zhurnal”. Many articles in authorship or co-authorship with I.S. Melkhov, which were published by “Lesnoy Zhurnal”, were unique not only in the USSR, but in the whole world. For example, in 1982 he wrote in his article dedicated to the 90th IUFRO first convention Anniversary that “...according to its Statute, the IUFRO primary goal is the development

For citation: Teplyakov V.K., Shalaev V.S. Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal) and International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 13–25. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.13

of international cooperation in forest sciences, including not only forestry, but forest technology, forest economics and other sciences, related to forest and its products". Over the last years, "Lesnoy Zhurnal" regularly reports about Union's activities. "Lesnoy Zhurnal" being the flagship of the forest periodical press in the Russian Empire, the USSR and the Russian Federation for almost one hundred and fifty years highlights the close connection between its authors and the international forest community and its flagship, the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO).

Keywords: Lesnoy Zhurnal, Forestry Journal, IUFRO, cooperation.

REFERENCES

1. Beylin I.G. *Ocherki po istorii lesnykh obshchestv dorevolyutsionnoy Rossii* [Essays on the History of Forest Communities in Pre-revolutionary Russia]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962, 158 p. (In Russ.)
2. Zobov N.M. Ob uchrezhdenii lesnykh opytnykh stantsiy v Rossii [On the Establishment of Forest Experiment Stations in Russia]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1871, no. 1, p. 19.
3. Melekhov I.S. *Ocherk razvitiya nauki o lese v Rossii* [Essay on the Development of Forest Science in Russia]. Moscow, AS USSR Publ., 1957, 207 p. (In Russ.)
4. Melekhov I.S. Mezhdunarodnyy soyuz lesnykh issledovatel'skikh organizatsiy (IUFRO), Sessiya Postoyannogo i Rasshirennogo komitetov [The International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Session of Permanent and Expanded Committees]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1968, no. 5, pp. 171–174.
5. Melekhov I.S. 100 let IYUFRO (IUFRO) [100 Years of IUFRO]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1992, no. 5, pp. 3–8.
6. Melekhov V.I., Babich N.A. Interesnaya i poleznaya kniga [Interesting and Useful Book]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 2, pp. 151–152.
7. Melekhov I.S., Moiseyev N.A. 90 let IYUFRO (IUFRO) [90 Years of IUFRO]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1982, no. 4, pp. 127–131.
8. Melekhov I.S., Moiseyev N.A., Kolomiyets N.G. XV kongress IUFRO [XV IUFRO World Congress]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1972, no. 2, pp. 168–171.
9. Melekhov I.S., Chertovskoy V.G. XIII kongress mezhdunarodnogo soyuza lesnykh nauchno-issledovatel'skikh organizatsiy (IYUFRO) [XIII Congress of the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1961, no. 6, pp. 167–171.
10. Merzlenko M.D., Babich N.A. *Vydayushchiyesya lesovody-lesokul'turniki Rossii: Biograficheskiy spravochnik* [Prominent Foresters – Forest Cultivators of Russia: Biographical Reference Book]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2005, 148 p. (In Russ.)
11. Morozov G. Lesnyye opytnyye stantsii [Forest Experiment Stations]. *Polnaya entsiklopediya russkogo sel'skogo khozyaystva i soprikasayushchikhsya s nim nauk: v 12 t. T. 5* [Complete Encyclopedia of Russian Agriculture and Related Sciences. In 12 vol. Vol. 5]. Saint Petersburg, A.F. Devriyen Publ., 1901, pp. 318–327. (In Russ.)
12. Morozov G.F. K voprosu o napravlenii deyatelnosti opytnykh lesnichestv [To the Issue of Experiment Forests Fields of Concern]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1903, no. 5, pp. 1293–1295.
13. Morozov G.F. K voprosu ob obrazovanii opytnogo lesnichestva v Bryanskikh lesakh [To the Issue of Organization of the Experiment Forestry in Bryansk Forests]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1906, no. 3, pp. 283–293.
14. Morozov G.F. O rezul'tatakh 5-go mezhdunarodnogo s'yezda po lesnomu opytnomu delu v Shtutgarte [On the Results of the 5th International Congress on Forest Experimentation in Stuttgart]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1906, no. 9–10, pp. 1066–1069.

15. Ogiyevskiy V.D. Bavarskaya lesnaya opytnaya stantsiya [Bavarian Forest Experiment Station]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1895, no. 1, pp. 65–83.
16. Ogiyevskiy V.D. Prusskaya lesnaya opytnaya stantsiya [Prussian Forest Experiment Station]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1895, no. 2, pp. 174–196.
17. Ogiyevskiy V.D. Lesnoye opytnoye delo v Avstrii [Forest Experimentation in Austria]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1895, no. 4, pp. 490–521.
18. Ogiyevskiy V.D. Frantsuzskaya lesnaya opytnaya stantsiya [French Forest Experiment Station]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1895, no. 5, pp. 595–614.
19. Ogiyevskiy V.D. Ispytaniye kachestva semyan na Saksonskey kontrol'noy stantsii [Seed Quality Testing at the Saxon Control Station]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1896, no. 4, pp. 839–849.
20. Orlov M.M. Proyekt organizatsii lesnogo opytnogo dela v Rossii [The Project of Organization of Forest Experimentation in Russia]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1896, no. 3, pp. 547–556.
21. Orlov M.M. *Ocherki po organizatsii lesnogo opytnogo dela v Rossii* [Essays on Organization of Forestry Experimentation in Russia]. Petrograd, M.A. Aleksandrov Publ., 1915, 271 p. (In Russ.)
22. Sobichevskiy V.T. Obozreniye po lesovodstvu [Forestry Overview]. *Russkoe selskoe khozyaystvo*, 1869, vol. 1, 84 p.
23. Sobichevskiy V.T. K voprosu ob ustroystve v Rossii opytnykh lesnykh stantsiy (Iz vlecheniye iz predpolozheniy, odobrennykh Sovetom Petrovskoy Zemledel'cheskoy i Lesnoy Akademii) [To the Issue of Organization of Forest Experiment Stations in Russia (Excerpts from the Assumptions Approved by the Council of the Petrovskaya Academy of Agronomy and Forestry)]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1876, no. 5, pp. 47–56.
24. Sobolev A.N. *Ob organizatsii lesnogo opytnogo dela v Rossii* [On Organization of Forest Experimentation in Russia]. Saint Petersburg, 1908, p. 10. (In Russ.)
25. Teplyakov V. Vasiliy Andreyevich Tikhonov (1849–1913) [Vasiliy Andreevich Tikhonov (1849–1913)]. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye*, 2017, no. 1(49), pp. 44–46.
26. Teplyakov V.K. G.F. Morozov i Mezhdunarodnyy soyuz lesnykh issledovatel'skikh organizatsiy (IYUFRO) [G.F. Morozov and the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO)]. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye: materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Sankt-Peterburg, 24–26 maya 2017 g.* [Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education: materials of the 2nd Int. Sci.-Tech. Conf., Saint-Petersburg, May 24–26, 2017]. Ed. by V.M. Ged'o, Saint Petersburg, SPbGLTU im. S.M. Kirova Publ., 2017, vol. 1, pp. 158–161.
27. Teplyakov V. K., Shalayev V.S. *Istoriya s'yezdov IYUFRO i Rossiya: v 2 t. T 1* [A History of IUFRO Congresses and Russia. In 2 vol. Vol. 1]. Moscow, MSFU Publ., 2015, 469 p. (In Russ.)
28. Teplyakov V.K., Shalayev V.S. Ivan Stepanovich Melekhov i IYUFRO [Ivan Stepanovich Melekhov and IUFRO]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, vol. 20, no. 5, pp. 17–20.
29. Teplyakov V.K., Shalayev V.S. IYUFRO – 125 let! [IUFRO turns 125 years!]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 1, pp. 139–142.
30. Ugolev B.N. III mezhdunarodnaya konferentsiya IYUFRO po sushke drevesiny [III IUFRO International Wood Drying Conference]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1992, no. 5, pp. 119–120.
31. Chuyenkov V.S., Ageyenko A.S. Mezhdunarodnaya konferentsiya IYUFRO [IUFRO International Conference]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1992, no. 5, pp. 117–118.
32. Shalayev V.S., Teplyakov V.K. Analiz uchastiya otechestvennykh predstaviteley v s'yezdakh i kongressakh IYUFRO [Analysis of the National Representatives Participation in the IUFRO Conventions and Congresses]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 3, pp. 9–20.

33. Shafranov A.S. Eshche k voprosu ob ustroystve opytnykh lesnykh stantsiy [Once More to the Issue of Organization of Forest Experiment Stations]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1876, no. 6, pp. 55–57.

34. Shafranov N.S. K voprosu ob ustroystve v Rossii opytnykh lesnykh stantsiy [To the Issue of Organization of Forest Experiment Stations in Russia]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1876, no. 2, pp. 86–94.

35. Shenrok E.I. Zametki s zasedaniya Sankt-Peterburgskogo Lesnogo obshchestva ot 19 maya 1874 g. [Notes from the Saint Petersburg Forest Community Meeting of May 19, 1874]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1876, no. 2, pp. 55–102.

36. Fernow B.E. *A Brief History of Forestry in Europe, the United States and other countries*. Canada: University Press Toronto, 1911. 506 p. Available at: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/64516#page/462/mode/1up> (accessed 21.09.2018).

37. Heske F. *German Forestry*. New Haven, CT: Yale University Press, 1938. 342 p.

38. Hundeshagen J.Ch., Miller Ph. *Die Forstabschätzung auf neuen, wissenschaftlichen Grundlagen nebst einer Charakteristik und Vergleichung aller bisher bestandenen Forsttaxations-Methoden*, In 2 Abtl. Tübingen, 1826. 429 s.

Received on March 16, 2018

UDC 630*165.3:634.74+582.866

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.26

GENETIC VARIATION IN GROWTH CHARACTERISTICS OF *HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L. GROWN UNDER CONTROLLED CONDITIONS*

N.A. Demidova¹, Candidate of Biological Sciences
Gösta Eriksson², PhD, professor

¹Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: natalia.demidova@sevniilh-arh.ru

²Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Plant Biology, BioCenter, PO Box 7080, SE-750 07, Uppsala, Sweden; e-mail: gosta.eriksson@slu.se

The Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.), being one of the most useful plants in the food and medical industry, is widely used for field amelioration, soil recultivation and restoration of disturbed lands. Knowledge about genetic parameters for important traits is a prerequisite for a successful breeding of any species. There are limited number of publications on within-population variation for growth traits and frost hardiness of Sea buckthorn. The experiments were done under the controlled conditions in a climate chamber at the Department of Forest Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences. Seedlings of Sea Buckthorn, originating from a controlled cross between three female plants and six male plants, as well as from an open pollination of mother plants, were grown under the controlled conditions until bud-set, a period of dormancy and an ensuing bud flush. Variation in growth, duration of growth period, earliness in bud flush and the fraction of frost-damaged buds after freezing were studied. Confirming previously reported observations, we found that Sea Buckthorn seedlings do not terminate growth at long nights, but low temperature treatment is needed. This lack of photoperiodic response stands in contrast to the majority of tree species in the temperate region. In this experiment, Sea Buckthorn reveals high level of genetic variance for growth and growth rhythm. The female variance component for the characteristics studied was higher than the male variance component, probably owing to seed size. The results analysis suggest that estimation of genetic parameters in Sea Buckthorn shall be based upon controlled crosses rather than on open pollinated progenies. The observed maternal effects indicate that seed weight may be a significant covariate in analyses of variance. The freezing test used in this experiment did not disclose any major genetic variance components responsible for the variation in fraction of damaged buds after freezing.

Keywords: Sea Buckthorn, genetics, controlled cross, open pollination, female and male plants, seedlings, growth, frost hardiness.

Introduction

The Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) is known as a useful plant and in many countries of the world it has received increasing attention as a medicine plant with fruits, leaves and bark rich in different vitamins and other biologically active substances [10, 16]. It is an important source for essential food ingredients as well [18, 19]. Sea Buckthorn also has excellent nitrogen fixing properties, thus, it has a wide use for field amelioration, recultivation and for stabilizing sandy areas and slopes [23].

*Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2018 г.

For citation: Demidova N.A., Eriksson G. Genetic Variation in Growth Characteristics of *Hippophae rhamnoides* L. Grown under Controlled Conditions. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 26–37. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.26

Hippophae rhamnoides L. occurs over large areas of Europe and Asia, with two discrete distributions in Europe: one European coastal area which stretches along the Baltic and the North Sea, along the West coast of England and Ireland, along the East coast of Scandinavia and one Central European area, which is directly connected with the mountainous part of Asia [20]. It is a typical pioneer species that can rapidly colonize new areas. It forms extensive thickets in habitats where there is no competition from trees or other high vegetation [22]. The plants are sensitive to light conditions, and usually cannot grow under the shadow of other trees. The species is plastic to temperature and soil conditions [6].

Sea Buckthorn is the subject of a large-scale research, and therefore there is a huge amount of publications about its useful properties and use for medical, food, cosmetic and environmental purposes. Knowledge about genetic parameters for important traits is a prerequisite for a successful breeding of any species. There are many reports on among-population variation of markers in *Hippophaea rhamnoides* [8, 11, 23, 26, 29]. Jeppsson et al. [15] found more variation within Sea Buckthorn populations and a very little variation between populations, what they explained by differences in population sizes and/or the continuity in spatial distribution. Contrary to this, there is a few publications on within-population variation for growth traits and frost hardiness. There are some reports about variation among cultivars [14, 27]. Zemtsova [7], using the method of ISSR analysis for Sea Buckthorn varieties, determined the degree of genotypic diversity of seabuckthorn samples of different eco-geographical origin in the collection of the Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, which allowed to establish the degree of genetic similarity between different ecotypes, as well as the prospects of the biochemical potential of the seabuckthorn varieties. Shan [25] reported on parental mean heights of eight hybrids and their offspring heights. They estimated the regression coefficient between parent and offspring at 0.17, which in this case is an estimate of the heritability for tree height. The range of heights was 205–233 cm; no tree age was given. It was stated that most of the hybrids were taller than their parental means. Rousi [21] reported high variation for morphological traits in 46 seedling populations and in adult populations from Asia and Europe. Based on the observed large variation in morphology and growth rhythm he pointed out that the species must have a wide adaptability that can be exploited in breeding. Tang and Tigerstedt [28] reported low female heritability for winter damage, 0.04, while there were high heritability's for several flowering and fruit characteristics, even heritability's beyond the permitted 1.00 were reported. Their estimates were based on two sets of disconnected factorial matings between Finnish females and Danish males. One factorial being 3×8 and the other 5×6. Strong non-additive effects were noted for flowering and fruit traits. In a paper addressing the potential for *Hippophae rhamnoides* cultivation in the USA, results as regards growth and frost tolerance of 13 cultivars growing at the Russian Siberia experiment station were presented by Letchamo et al. [17]. At the age of five the tree height varied in the range 1.99 and 3.12 meters. All cultivars were characterized by high general and bud frost tolerance and limited variation among the cultivars.

Sea Buckthorn is a complicated species for breeding since hybridization and accompanying progeny evaluation are required. A major task for Sea Buckthorn breeding is to combine traits of resistance to harsh weather conditions with fruit quality traits. Absence of thorns is one of those quality traits, which play an essential role in its cultivars creation. In relation to the development of northern horticulture, there is need to widen the variety of available berry cultivars, suitable for cultivation under northern conditions [9]. A gene bank of *Hippophae rhamnoides* L.

with large diversity of qualitative and quantitative characteristics has been collected in the Arkhangelsk Dendrological Garden since 1969. The results from the initial test under Dendrological Garden conditions gave guidelines for transferring the plant material to the North [9], but it was found that in some years there was a high mortality, which could be attributed to damage of the root systems in mild winters with much snow. Eliseev [3] concluded that successful introduction of Sea Buckthorn is not possible without improvement of winter hardiness and frost tolerance.

Frost damage of many tree species is frequently attributed to a growth rhythm unsuitable for the growth conditions such that plants in frost sensitive phases are exposed to late spring frosts or early autumn frosts, alternatively to both of them [13]. It is plausible that *Hippophae rhamnoides* L. plants transferred over wide distances to new and different growth conditions will suffer from maladaptation of the growth rhythm. Nilov [5] reported that growth cessation in Sea Buckthorn is triggered by low temperatures. This contrasts with the response to long nights of many tree species from the temperature zone [12]. Under temperate climatic conditions, there is usually a clinal variation for this response such that northern populations require a shorter night than southern populations for bud-set and growth cessation [12]. It would be useful for future breeding to clarify whether *Hippophae rhamnoides* L. constitutes a deviating species to the general pattern of triggering of growth cessation by long nights. Such study must be done under strictly controlled conditions.

Published information concerning the genetic parameters for quantitative traits in *Hippophae rhamnoides* L. is limited. The goal of the present study is to examine the genetic variation in a number of characteristics of adaptive importance of sea buckthorn hybrids, by growing seedlings under the controlled climatic conditions in a growth chamber. The characteristics are height growth, number of days to achieve 90 % of total growth (D90), earliness in flushing and degree of bud damage caused by frost. In addition, variation in quality characteristics such as stem straightness and number of thorns were assessed.

Research Methodology

The seeds for the study originated from a 3×6 factorial mating carried out in the Arkhangelsk Dendrological Garden. Seventeen of these 18 families had seeds enough for our experiment. The three females of *H. rhamnoides* L. spp. *mongolica* were selected in Siberia (Khakasiya) and the six males *H. rhamnoides* L. spp. *rhamnoides* were selected in the Åland archipelago, Finland. In addition, open-pollinated seeds from the three females were included in the experiment. The Siberian female plants are characterized by large fruit size, absence of thorns but low frost tolerance under Arkhangelsk weather conditions. The Finnish male plants are characterized by good winter hardiness, but high thorniness and small fruits.

Experiments were done under the controlled conditions in the climate chamber at the Department of Forest Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences. The cultivation conditions are given in Table 1. After germination, the seedlings were transplanted to pots and were randomized in a block design, 10 blocks×32 seedlings. A second transplanting to larger pots took place after 10 weeks.

Plant height had been measured once a week after the first transplantation of the seedlings and three times a week after the second transplantation. The amount of days to reach 90 % of final height was interpolated from the individual growth curves.

The stage of bud flushing during the second growth period had been assessed every day after plants were transferred to continuous light, using a scale, where: 0 – dormant bud; 1 – buds slightly swollen; 2 – buds swollen, scales still closed, brown-green; 3 – burst of bud scales, tips of leaf emerging; 4 – leaf emerging from the buds and shoot growing; 5 – leaf elongation; 6 – full leaf, new buds developing.

Table 1

Cultivation conditions and subdivision of the first growth period into sub-periods

Period	Cultivation conditions			
	Week no.	Night length (h)	Temperature (°C)	
			day	night
Germination	1–2	0	20	20
	<i>Transplantation 1¹</i>			
Sub-period 1 beginning	3–5	0	20	20
	6	3	20	20
	7–10	Gradual increase of night by 1h/week until 11 h night	20	20
	<i>Transplantation 2²</i>			
Sub-period 2 beginning	11–14		20	20
Growth cessation	15–19		20	10
	20–21		10	10
Dormancy period	22	16	4	4
	23–26	16	2	2
Breaking of dormancy and bud flushing	27–30	8	20	10

¹A first transplantation was done during the first days of week 3.

²A second transplantation to larger pots was done during the first days of week 11.

Freeze testing was carried out during week 20. One lateral shoot from eight plants of each family were cut and put into separate plastic bags, where they remained sealed throughout the testing. This freeze testing of shoots was performed in darkness in freezing chamber under different conditions, at -7 °C and -17 °C respectively. Control plants were kept at $+4$ °C. The treatment started from $+10$ °C and then the temperature was slowly reduced by $+3$ °C per hour until final temperature was reached. It was being maintained for four hours. After the freeze treatment temperature was gradually increased to $+10$ °C. The shoots were stored at $+10$ °C during three days and then visual frost damage was assessed by counting damaged buds. Since no damage was induced by $+4$ °C, only data from -7 °C and -17 °C were included in the analysis of variance. A separate analysis of bud damage for the -17 °C treatment alone was carried out, as well.

The quality characteristics like thorniness, number of lateral shoots and stem straightness were assessed at the end of the experiment. The following scales and methods were used

- stem straightness was estimated after growth cessation, in grades from 1 to 3, where 1 – straight, 2 – slightly curved and 3 – curved;
- presence of thorns was recorded according to a scale, where: 0 – no thorns, 1 – single thorns, 2 – several thorns;
- the number of lateral shoots was recorded since it is connected with thorn presence. The more lateral shoots, the higher thorniness.

Statistical methods

Analyses of variance were used to estimate causes of variation in individual characteristics according to the following model:

$$Y = \mu + b_j + f_k + m_l + (f \times m)_{kl} + e_{ijkl},$$

where: Y – individual plant value;

μ – population mean;

b_j – effect of box ($j = 1, \dots, 10$) ($J = 1, \dots, 20$ after second transplantation);

f_k – effect of female ($k = 1, \dots, 3$);

m_l – effect of male ($l = 1, \dots, 6$);

$(f \times m)_{kl}$ – interaction female \times male;

e_{ijkl} – residual error.

When frost damage was analyzed, effect of treatment was included in the model:

$$Y = \mu + t_i + b_j + f_k + m_l + (f \times m)_{kl} + (b \times f \times m)_{jkl} + (t \times f)_{ik} + (t \times m)_{il} + (t \times f \times m)_{ikl} + e_{ijkl},$$

where: t_i – treatment ($I = 1, \dots, 2$);

$(b \times f \times m)_{jkl}$ – interaction box \times female \times male;

$(t \times f)_{ik}$ – interaction treatment \times female;

$(t \times m)_{il}$ – interaction treatment \times male;

$(t \times f \times m)_{ikl}$ – interaction treatment \times female \times male.

Variance components were estimated using the same model, with all effects except treatment considered to be random. SAS statistical package [24] was used for the GLM and VARCOMP procedures.

Results

Figure 1 illustrates the large variation among females and males as regards mean percentage of damaged buds after freeze testing at -7°C . The family performance as regards bud damage after freeze testing at -17°C caused significantly higher frost damage than exposure to -7°C .

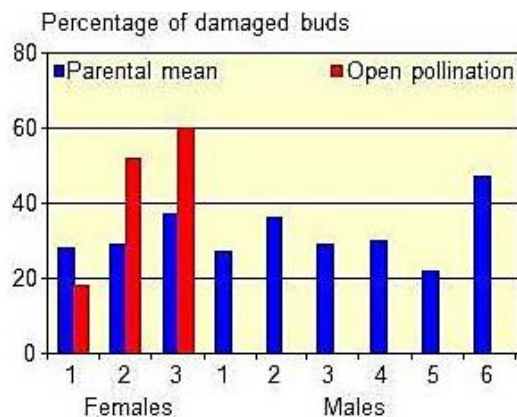


Fig. 1. Mean percentage damaged buds after freeze testing at -17°C of 18 full-sib families from a 3×6 factorial mating as well as mean percentages for open pollination of the three female clones included in the mating

Regression analysis showed that there was a weak, non-significant relationship between date of growth cessation and frost damage. Figure 2 and Table 2 reveal that the additive variance components (CV_A) for females were mostly large for growth and phenology traits. There was a significant female \times male interaction for several traits. All CV_A s for frost damage after exposure to -17°C were close to zero. Bud flushing was recorded at five occasions, and it showed significant female differences except one occasion. The largest variance component was obtained at

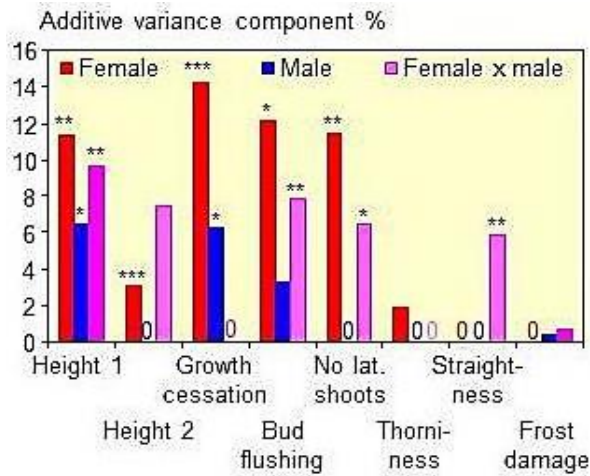


Fig. 2. Additive variance components estimates for female, male, and female \times male interaction in the growth chamber study of a 3×6 factorial mating

Table 2

Mean values for bud damage (-17°C)

		Male clones						Open pollination
		1	2	3	4	5	6	
Female clones	1	0.202		0.000	0.376	0.510	0.386	0.176
	2	0.378	0.288	0.312	0.172	0.635	0.439	0.601
	3	0.230	0.293	0.365	0.360	0.274	0.241	0.516

the end of flushing, amounting to 25.1 %. There was also a large time variation of bud flushing between families. Generally, the female variance components were a few times larger than both the male and the female \times male components.

Little or no genetic influence could be detected for the quality characteristics – thorniness, number of lateral shoots and stem straightness.

Discussion

It is important to point out that this is a pilot experiment with Sea Buckthorn under the controlled conditions which has not been done before. Our results confirm the observations made by Nilov [5], that long nights do not trigger the growth cessation in *Hippophae rhamnoides* L. To obtain growth cessation, the plants must be exposed to low temperature. This is a contrast to the statement by Rousi [21] that “the termination of activity in the fall took place in the exact order from north to south”, which means that a photoperiodic triggering is important for growth cessation. Our observation also contrasts with the majority of other tree species from the temperate zone as stated in the introduction. A provenance study under strictly controlled conditions would be useful to get an unequivocal answer to the roles of photoperiod and temperature for growth cessation.

The material selected for this study is a limited sample of the present breeding stock of *Hippophae rhamnoides* L. because of practical limitations. Nevertheless, a significant genetic variation in several characteristics was detected. In spite of the lower number of females than males the variance component for the female was for most traits a few times larger than the male effect (Table 2 and Figure 2). This suggests that there is a strong maternal effect in these young plants and the true

genetic female variance component is presumably far less than shown in Figure 2. This is supported by the large drop of the female variance component for plant height from sub-period 1 to sub-period 2. This maternal effect is supposed to originate from the rather large seed size. If our interpretation is correct, it also suggests that open pollinated progenies will not give good estimates of genetic parameters. Based on our data, genetic parameters should be obtained from mating, in which a few females are mated to a large number of males and the genetic parameters should be exclusively derived from the males. Alternatively, individual seed weights must be recorded and used as covariates in the parameter estimations, which though is labor demanding.

The early study of genetic differences in winter hardiness of Sea Buckthorn was done in the Arkhangelsk Dendrological Garden with a limited amount of material [2]. However, there were significant female and male effects for this characteristic, but the main factor which had strong influence on frost tolerance was winter conditions. In the present study, we were unable to detect any significant genetic effect of frost tolerance after growth cessation. Neither did a regression analysis show any significant relationship between point of time for growth cessation and frost damage.

Besschetnov [1] reported that bud flushing in Sea Buckthorn was under genetic control. He reported about big differences in flushing in plants from different provenances. The significant genetic influence on bud flushing in our study confirms his conclusion.

We did not detect any genetic influences on thorniness ability. However, Kalinina and Panteleeva [4] pointed out that usage of highly thorny plants in hybridization gives a thorny progeny, thus suggesting dominance for this trait.

Presence of lateral annual shoots makes fruit harvesting difficult. This trait correlates with thorniness [4]. In this study we detected significant female and family genetic effect on variation of this quality characteristic.

Our data suggest that it is worthwhile to carry out more comprehensive mating to get more precise estimates of genetic parameters. Such estimates are needed for an efficient breeding of *Hippophae rhamnoides* L.

The number of parents is far too low to allow any precision in estimates of genetic correlations between different traits. Such estimates are indispensable for an efficient breeding program for any species.

Conclusion

The results of the present study indicate that Sea Buckthorn seedlings do not terminate growth at long nights, but low temperature treatment is needed. This lack of photoperiodic response stands in contrast to the majority of tree species in the temperate region. In this experiment, Sea Buckthorn reveals high estimates of genetic variance for growth and growth rhythm. The female variance component for the characteristics studied was higher than the male component, probably owing to influence from maternal inheritance and seed size. The results suggest that estimation of genetic parameters in Sea Buckthorn shall be based upon controlled crosses rather than on open pollinated progenies. The observed maternal effects indicate that seed weight may be a significant covariate in analyses of variance. The freezing test used in this experiment did not disclose any major genetic variance components responsible for variation in fraction of damaged buds after freezing.

Our data suggest that it is worthwhile to carry out more comprehensive mating to get more precise estimates of genetic parameters. Such estimates are needed for an efficient breeding of *Hippophae rhamnoides* L.

REFERENCES

1. Besschetnov V.P. Spetsifika fenologii oblepikhi krushinovidnoy razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya v svyazi s adaptatsionnymi protsessami [Specificity of Common Sea Buckthorn Phenology of Diverse Geographical Origins in Connection with Adaptation Processes]. *Biologiya, selektsiya i agrotehnika plodovykh i yagodnykh kul'tur*: sb. nauch. tr. [Biology, Selection and Agricultural Techniques of Fruit and Berry Crops: Collection of Academic Papers]. Gor'kiy, Gor'kov. s.-kh. in-t. Publ., 1987, pp. 14–21. (In Russ.).
2. Demidova N.A. Otbor ustoychivyykh dlya kul'tury na Severe form oblepikhi [Selection of Winter Hardiness Sea Buckthorn Forms for the Cultivation in the North]. *Voprosy introduktsii khozyaystvenno tsennykh drevesnykh porod na Evropeyskiy Sever* [Questions of Introduction of Economically Valuable Tree Species to the European North]. Arkhangel'sk, AILiLKH Publ., 1989. Pp. 54–62. (In Russ.).
3. Eliseyev I.P. Rezul'taty i perspektivy introduktsii oblepikhi krushinovoy v Sredney polose [Results and Prospects of Common Sea Buckthorn Introduction in the Central Part of the USSR]. *Biologicheskiye osnovy povysheniya produktivnosti i okhrany rastitel'nykh soobshchestv Povolzh'ya* [Biological Basics for Productivity Increasing and Plant Communities Preservation in Volga region]. Gor'kiy, Gor'kov. s.-kh. in-t. Publ., 1980, pp. 121–129.
4. Kalinina I.P., Panteleyeva E.I. *Oblepikha. Dostizheniya selektsii plodovykh kul'tur i vinograda*. [Sea Buckthorn. Achievements in Selection of Fruit Crops and Grapes]. Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 177–189. (In Russ.).
5. Nilov V.N. Introduktsiya oblepihi v dendrologicheskom sadu AILiLH [Sea Buckthorn Introduction in the Dendrological Garden of Arkhangel'sk Forest and Forest Chemistry Institute (AFFCI)]. *Voprosy iskusstvennogo lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe* [Issues of Artificial Reforestation in the European North]. Arkhangel'sk, AILiLKH Publ., 1986, pp. 91–101. (In Russ.).
6. Vasil'chenko G.V. *Optimal'nyye usloviya rosta i urozhaynosti oblepikhi*. [Optimal Conditions for Sea Buckthorn Growth and Yield] *Vitaminnyye rastitel'nyye resursy i ikh ispol'zovaniye. Materialy nauch.-tekhn. soveshch.* [Vitamin Plant Resources and Their Usage. Materials of Sci.-Tech. Meetings]. Moscow, MSU Publ., 1977, pp. 243–245. (In Russ.).
7. Zemtsova A.Ya. *Geneticheskaya i biokhimicheskaya otsenka sortoobraztsov oblepikhi razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya v kolleksii NII sadovodstva Sibiri imeni M.A. Lisavenko*: avtoref. ... dis. kand. s.-kh. nauk [Genetic and Biochemical Evaluation of Sea Buckthorn Varieties of Diverse Ecological and Geographical Origins in the Collection of the Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia: Cand. Agric. Sci. Diss.]. Barnaul, 2017. 18 p.
8. Bartish G., Jeppson N., Bartish I., Nybom N. Assessment of Genetic Diversity Using RAPD Analysis in a Germplasm Collection of Sea Buckthorn. *Agricultural and Food Science in Finland*, 2000, vol. 9, no. 4, pp. 279–289. Available at: <https://journal.fi/afs/article/view/5669/4868> (accessed 04.12.2008).
9. Demidova N. Research on Development of Sea Buckthorn Varieties in the Conditions of Russian North. *Sea Buckthorn (Hippophae L.) – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. 1: Botany, Harvesting and Processing Technologies*. Editor in Chief. V. Singh. New Delhi, India, Indus Publishing Company, 2003, pp. 125–136.
10. Demidova N. Review on Sea Buckthorn Research in the Russian Federation and New Independent States (NIS). *Proceedings of the 3rd International Sea Buckthorn Association Conference*, August 12–16, 2007. Editor in Chief D.B. McKenzie. Quebec City, Canada, 2009, pp. 9–30. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Haihong_Wang4/publication/303987959_Proceedings_of_the_3rd_International_Seabuckthorn_Association_Conference/links/57618b5f08aeeada5bc4fd87/Proceedings-of-the-3rd-International-Seabuckthorn-Association-Conference.pdf (accessed 01.10.2009).

11. Ercişli S., Orhan E., Yildirim N., Açar G. Comparison of Sea Buckthorn Genotypes (*Hippophae rhamnoides* L.) Based on RAPD and FAME Data. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2008, vol. 32, iss. 5, pp. 363–368.
12. Eriksson G., Ekberg I., Clapham D. *An Introduction to Forest Genetics*. Uppsala, Sweden, SLU, 2007. 185 p.
13. Eriksson G., Lundkvist K. Adaptation and Breeding of Forest Trees in Boreal Areas. *Proceedings of the Frans Kempe Symposium in Umea*. Report Dept. of Forest Genetics and Plant Physiology, June 10–11, 1986, no. 6, pp. 67–80.
14. Garanovich I.M., Shpitalnaya T.V. Role of Intraspecific Variability in Introduction of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in Belarus. *Sea Buckthorn – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV: Emerging Trends in Research and Technologies*. Editor in Chief V. Singh. New Dehli, India, Daya Publishing House, 2014, pp. 107–139.
15. Jeppsson N., Bartish I.V., Persson H.A. DNA Analysis as a Tool in Sea Buckthorn Breeding. *Perspectives on New Crops and New Uses*. Ed. by J. Janick. Alexandria, VA, ASHS Press, 1999, pp. 338–341.
16. Kallio H., Yang B., Halttunen T. Flavonol Glycosides of Berries of Three Major Sea Buckthorn Subspecies, *Hippophae rhamnoides* ssp. *rhamnoides*, ssp. *sinensis* and ssp. *mongolica*. *The Proceedings of Invited Speeches of the Second International Sea Buckthorn Association Conference, Beijing, China, August 26–29, 2005*. Beijing, China, 2005, pp. 29–35.
17. Letchamo W., Molnar T., Funk C.R. Eco – Genetic Variations in Biological Activities of Sea Berry (*Hippophae rhamnoides*). *Proceedings of International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants. ISHS Acta Horticulture*, no. 756, 2007, pp. 229–244. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.756.24
18. Morsel J.-T., Steen S. Alternative Methods and Technologies for Sea Buckthorn Processing. *Proceedings of Invited Speeches of the Second International Sea Buckthorn Association Conference*. Beijing, China, August 26–29, 2005, pp. 43–49.
19. Mörsel J.T., Zubarev Y.A., Sordonova M. Comparison of Biochemical Properties of Sea Buckthorn Varieties of Different Origins. *Proceedings of 7th Conference of the International Sea Buckthorn Association on “Sea Buckthorn: Emerging Technologies for Health Protection and Environmental Conservation”*. Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India, November 24–26, 2015, pp. 199–204.
20. Ranwell D.S. *The Management of Sea Buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) on Selected Sites in Great Britain. Report of the Hippophae Study Group*. Norwich, Great Britain, The Nature Conservancy, 1972. 55 p. Available at: http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/7928/1/Sea_Buckthorn.pdf (accessed 07.08.2009).
21. Rousi A. Observations on the Cytology and Variation of European and Asiatic Populations of *Hippophae rhamnoides*. *Annales Botanici Fennici*, 1965, vol. 2, no. 1, pp. 1–18.
22. Rousi A. *Changes during 35 Years in the Range of Hippophae rhamnoides in the Archipelago of Rauma on the Gulf of Bothnia Coast*. Department of Botany, University of Turku. Finland, 1976, no. 232, pp. 1–5.
23. Ruan C.-J., Li D. Role of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in Improving Eco-Environment of Loess Plateau of China. *Proceedings of International Workshop on Sea Buckthorn – A Resource for Health and Environment in Twenty First Century*. Ed. by V. Singh and P.K. Khosla. New Delhi, India, 2002, pp. 44–53.
24. *SAS User's Guide: Statistics*. Ed. by N.C. Cary, SAS Institute. USA, 1982. 584 p.
25. Shan J. Studies on Genetic Variation in Hybrid Offsprings of Large Fruit Sea Buckthorn Forms. *Sea Buckthorn – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV: Emerging Trends in Research and Technologies*. Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India, Daya Publishing House, 2014, pp. 140–145.
26. Simon-Gruita A., Tataru E., Constantin N., Duta C.G., Pavlusenco C.E., Rat V., Rati L., Stoian V. The Assessment of the Genetic Diversity of Sea Buckthorn Populations from Romania Using RAPD Markers. *Romanian Biotechnological Letters*, 2012, vol. 17, no. 6, pp. 7749–7756.

27. Singh V., Zubarev Y. Breeding Strategies of Russian Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica*) Varieties and Their Global Introduction. *Sea Buckthorn (Hippophae L.) – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV: Emerging Trends in Research and Technologies*. Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India, Daya Publishing House, 2014, pp. 71–88.

28. Tang X., Tigerstedt P.M.A. Inheritance of Flowering, Maturity, Fruit Yield, and Winter Hardiness of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2001, vol. 126, iss. 6, pp. 744–749.

29. Yao Y.M., Tigerstedt P.M. Isozyme Studies of Genetic Diversity and Evolution in *Hippophae*. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1993, no. 40, iss. 3, pp. 153–164.

Received on August 16, 2018

УДК 630*165.3:634.74+582.866

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.26

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РОСТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L.) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Н.А. Демидова¹, канд. биол. наук

Гёста Эрикссон², PhD, проф.

¹Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия; e-mail: natalia.demidova@sevniilh-arh.ru

²Шведский университет сельскохозяйственных наук, кафедра биологии растений, БиоЦентр, г. Упсала, Швеция; e-mail: gosta.eriksson@slu.se

Облепиха (*Hippophae rhamnoides* L.), одно из самых полезных растений для пищевой и медицинской промышленности, широко используется для улучшения почвенного плодородия и рекультивации нарушенных земель. Знание генетических параметров важнейших признаков любых видов растений является предпосылкой успешной селекции. Существует ограниченное количество публикаций по внутривидовой изменчивости облепихи по признакам роста и морозостойкости. Эксперименты проводились в контролируемых условиях климатической камеры на кафедре лесной генетики Шведского университета сельскохозяйственных наук. Сеянцы облепихи, полученные от контролируемого скрещивания между тремя женскими растениями и шестью мужскими растениями облепихи, а также сеянцы от свободного опыления материнских растений, выращивались в контролируемых условиях до перехода их в период покоя и последующего распускания почек. Изучались изменения в росте, длительность периода роста, раннее распускание почек и степень их повреждения морозом. В подтверждение предыдущих сообщений, нами обнаружено, что завершение роста побегов облепихи обусловлено в основном тепловым фактором. Отсутствие реакции облепихи на фотопериодичность отличает ее от большинства древесных видов умеренного пояса. В ходе эксперимента установлен высокий уровень генетической дисперсии для показателей роста у облепихи. Компонент женской дисперсии для изученных показателей был выше, чем мужской, вероятно из-за размера семян. Анализ результатов выявил, что оценка генетических параметров облепихи должна проводиться на потомстве от контролируемых скрещиваний, а не от свободного опыления. Наблюдаемый материнский эффект показал, что вес семян может быть значительной ковариатой при дисперсионном анализе. Тест на замораживание, проведенный в этом

Для цитирования: Demidova N.A., Eriksson G. Genetic Variation in Growth Characteristics of *Hippophae rhamnoides* L. Grown under Controlled Conditions // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 26–37. Itstic. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.26

эксперименте, не выявил каких-либо компонентов генетической дисперсии, ответственных за изменение доли поврежденных почек после замораживания.

Ключевые слова: облепиха, генетика, контролируемое скрещивание, свободное опыление, женские и мужские растения, рост, морозоустойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В.П. Специфика фенологии облепихи крушиновидной различного географического происхождения в связи с адаптационными процессами // Биология, селекция и агротехника плодовых и ягодных культур: сб. науч. тр. Горький: Горьков. с.-х. ин-т., 1987. С. 14–21.
2. Демидова Н.А. Отбор устойчивых для культуры на Севере форм облепихи // Вопросы интродукции хозяйственно ценных древесных пород на Европейский Север. Архангельск: АИЛиЛХ, 1989. С. 54–62.
3. Елисеев И.П. Результаты и перспективы интродукции облепихи крушиновой в средней полосе // Биологические основы повышения продуктивности и охраны растительных сообществ Поволжья. Горький: Горьков. с.-х. ин-т., 1980. С. 121–129.
4. Калинина И.П., Пантелева Е.И. Облепиха. Достижения селекции плодовых культур и винограда. М.: Наука, 1983. С. 177–189.
5. Нилов В.Н. Интродукция облепихи в дендрологическом саду АИЛиЛХ // Вопросы искусственного лесовосстановления на Европейском Севере. Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. С. 91–101.
6. Васильченко Г.В. Оптимальные условия роста и урожайности облепихи // Витаминные растительные ресурсы и их использование: материалы науч.-техн. совещания. М.: МГУ, 1977. С. 243–245.
7. Земцова А.Я. Генетическая и биохимическая оценка сортообразцов облепихи различного эколого-географического происхождения в коллекции НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2017. 18 с.
8. Bartish G., Jeppson N., Bartish I., Nybom N. Assessment of Genetic Diversity Using RAPD Analysis in a Germplasm Collection of Sea Buckthorn // Agricultural and Food Science in Finland. 2000. Vol. 9, no. 4. Pp. 279–289. Режим доступа: <https://journal.fi/afs/article/view/5669/4868> (дата обращения: 04.12.2008).
9. Demidova N. Research on Development of Sea Buckthorn Varieties in the Conditions of Russian North // Sea Buckthorn (*Hippophae* L.) – A Multipurpose Wonder Plant. Botany. Vol. 1. Harvesting and Processing Technologies / Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India: Indus Publishing Company, 2003. Pp. 125–136.
10. Demidova N. Review on Sea Buckthorn Research in the Russian Federation and New Independent States (NIS) // Proceeding of the 3rd International Sea Buckthorn Association Conference, August 12–12, 2007 / Editor in Chief D.B. McKenzie. Quebec City, Canada, 2009. Pp. 9–30. Режим доступа: https://www.researchgate.net/profile/Haihong_Wang4/publication/303987959_Proceedings_of_the_3rd_International_Seabuckthorn_Association_Conference/links/57618b5f08aeeada5bc4fd87/Proceedings-of-the-3rd-International-Seabuckthorn-Association-Conference.pdf (дата обращения: 01.10.2009).
11. Ercisli S., Orhan E., Yildirim N, Ađar G. Comparison of Sea Buckthorn Genotypes (*Hippophae rhamnoides* L.) Based on RAPD and FAME Data // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2008. No. 32, iss. 5. Pp. 363–368.
12. Eriksson G., Ekberg I., Clapham D. An Introduction to Forest Genetics. Uppsala: SLU, 2007. 185 p.
13. Eriksson G., Lundkvist K. Adaptation and Breeding of Forest Trees in Boreal Areas // Proceeding of the Frans Kempe Symposium in Umea, June 10–11: Report Dept. of Forest Genetics and Plant Physiology. 1986. No. 6. Pp. 67–80.
14. Garanovich I.M., Shpitalnaya T.V. Role of Intraspecific Variability in Introduction of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in Belarus // Sea Buckthorn – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV. Emerging Trends in Research and Technologies / Editor in Chief V. Singh. New Dehli, India: Daya Publishin House, 2014. Pp. 107–139.

15. Jeppsson N., Bartish I.V., Persson H.A. DNA Analysis as a Tool in Sea Buckthorn Breeding // Perspectives on New Crops and New Uses / Editor in Chief J. Janick. Alexandria, VA: ASHS Press, 1999. Pp. 338–341.

16. Kallio H., Yang B., Halttunen T. Flavonol Glycosides of Berries of Three Major Sea Buckthorn Subspecies, *Hippophae rhamnoides* ssp. *rhamnoides*, ssp. *sinensis* and ssp. *mongolica* // The Proceedings of Invited Speeches of the Second International Sea Buckthorn Association Conference, August 26–29, 2005. Beijing, China, 2005. Pp. 29–35.

17. Letchamo W., Molnar T., Funk C.R. Eco Genetic Variations in Biological Activities of Sea Berry (*Hippophae rhamnoides*) // Proceedings of International Symposium on Medicinal and Nutraceutical Plants. ISHS Acta Horticulture. 2007. No. 756. Pp. 229–244. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.756.24

18. Morsel J.-T., Steen S. Alternative Methods and Technologies for Sea Buckthorn Processing // Proceedings of Invited Speeches of the Second International Sea Buckthorn Association Conference, August 26–29, 2005. Beijing, China, 2005. Pp. 43–49.

19. Mörsel J.T., Zubarev Y.A., Sordonova M. Comparison of Biochemical Properties of Sea Buckthorn Varieties of Different Origins // Proceedings of 7th Conference of the International Sea Buckthorn Association on “Sea Buckthorn: Emerging Technologies for Health Protection and Environmental Conservation”, November 24–26, 2015 / Ed. in Chief V. Singh. New Delhi, India, 2015. Pp.199–204.

20. Ranwell D.S. The Management of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) on Selected Sites in Great Britain: Report of the Hippophae Study Group: Norwich, Great Britain: The Nature Conservancy, 1972. 55 p. Режим доступа: http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/7928/1/Sea_Buckthorn.pdf (дата обращения: 07.08.2009).

21. Rousi A. Observations on the Cytology and Variation of European and Asiatic Populations of *Hippophae rhamnoides* // Annales Botanici Fennici. 1965. Vol. 2, no. 1. Pp. 1–18.

22. Rousi A. Changes during 35 Years in the Range of *Hippophae rhamnoides* in the Archipelago of Rauma on the Gulf of Bothnia Coast. Department of Botany, University of Turku, 1976. No. 232. Pp. 1–5.

23. Ruan C.-J., Li D. Role of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in Improving Eco-Environment of Loess Plateau of China // Proceedings of International Workshop on Sea Buckthorn – a Resource for Health and Environment in Twenty First Century / Editor by V. Singh and P.K. Khosla. New Delhi, India, 2002. Pp. 44–53.

24. SAS User's Guide: Statistics / ed. by N.C. Cary. USA: SAS institute, 1982. 584 p.

25. Shan J. Studies on Genetic Variation in Hybrid Offsprings of Large Fruit Sea Buckthorn Forms // Sea buckthorn – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV. Emerging Trends in Research and Technologies / Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India: Daya Publishin House, 2014. Pp. 140–145.

26. Simon-Gruita A., Tataru E., Constantin N., Duta C.G., Pavlusenco C.E., Rat V., Rati L., Stoian V. The Assessment of the Genetic Diversity of Sea Buckthorn Populations from Romania using RAPD markers // Romanian Biotechnological Letters. 2012. Vol. 17, no. 6. Pp. 7749–7756.

27. Singh V., Zubarev Y. Breeding Strategies of Russian Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* ssp. *mongolica*) Varieties and Their Global Introduction // Sea Buckthorn (*Hippophae* L.) – A Multipurpose Wonder Plant. Vol. IV. Emerging Trends in Research and Technologies / Editor in Chief V. Singh. New Delhi, India: Daya Publishin House, 2014. Pp. 71–88.

28. Tang X., Tigerstedt P.M.A. Inheritance of Flowering, Maturity, Fruit Yield, and Winter Hardiness of Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2001. Vol. 126, iss. 6. Pp. 744–749.

29. Yao Y.M., Tigerstedt P.M. Isozyme Studies of Genetic Diversity and Evolution in *Hippophae* // Genetic Resources and Crop Evolution. 1993. No. 40, iss. 3. Pp. 153–164.

Поступила 16.08.18

УДК 630*237

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БОЛОТ И ВОДНОЕ ПИТАНИЕ РЕК

Б.В. Бабиков, д-р с.-х. наук, проф.

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

Влияние болот на водное питание рек обсуждается в средствах массовой информации и в некоторых научных работах уже более 100 лет. Первые такие публикации появились после осушения в 80-х гг. XVIII в. болот Белорусского Полесья. В настоящей статье рассмотрено образование и гидрологическая роль болот в биосфере. На основе многолетних стационарных исследований показано влияние болот на водное питание рек. Рассмотрены причины снижения стока воды в реки по мере зарастания озер и образования на их месте болот. По модулям стока определены за 15-летний период стационарных водно-балансовых исследований особенности изменения величины стока воды в реки из осушенных болот. Исследована водопроницаемость болот по глубине торфяной залежи, установлены причины изменения фильтрации грунтовой воды после гидромелиорации болот. Изучено влияние внутриболотных водотоков на сток воды и поступление ее в реки. Отмечено прерывание стока из болот в реки, особенно в летний период. Объяснены причины длительности «бессточных периодов» и понятие «нулевого стока», когда грунтовая вода притекает в каналы, но не поступает в реки. Изучено влияние гидромелиорации на рост сосновых древостоев, повышение их класса бонитета на болотах, показана зависимость стока от класса бонитета древостоев. Установлено, что сток с осушенных болот в течение года более выровнен за счет снижения стока весеннего половодья и увеличения стока в летний период, что обеспечивает равномерность водного питания рек.

Ключевые слова: водный баланс, сток, фильтрация, водопроницаемость.

Введение

По классификации В.Н. Сукачева к болотам относятся избыточно увлажненные участки суши с наличием торфа. Торф образуется в основном из отмерших остатков растений, росших в воде (камыш, тростник, ряска). Поэтому большинство болот возникали на месте бывших озер. Начало болотообразовательного процесса можно наблюдать и в настоящее время по берегам рек и озер, которые зарастают камышом, тростником. По мере появления среди водных растений растительного грунта начинают произрастать белокрыльник, сабельник, позднее осоки и т. д., постепенно образуется сплавина – плавающий ковер. Болота на земном шаре возникли несколько миллионов лет назад, интенсивно развивались они в голоцене (субатлантический период). Активный болотообразовательный процесс начался в бореальном периоде 7...8 тыс. лет назад, наиболее интенсивно это происходило в более теплом атлантическом периоде. В северной части Европы, где расположена Россия, вначале широкое распространение получили эвтрофные и мезотрофные болота, часто на месте некогда чистых послеледниковых озер. Образование болот и зарастание их лесом красочно описано Е.А. Елиной [9].

Для цитирования: Бабиков Б.В. Гидрологическая роль болот и водное питание рек // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 38–47. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38

Формирование большей части речных долин происходило за счет соединения протоками послеледниковых озерных систем, что отмечал В.В. Докучаев [7]. Озера являлись первоначальным источником питания рек. С течением времени происходило их постепенное зарастание. Процесс формирования болот на месте озер достаточно подробно рассмотрен В.Н. Сукачевым [21]. В настоящее время площадь болот только в лесном фонде России составляет более 137 млн га. До 80 % массы болот – вода. Большинство рек равнинной европейской части России вытекает из болот, бывших когда-то озерами.

Величина стока рек определяется уровнем воды в озере. Весной в половодье или в дождливое лето, когда уровень воды в озере поднимается, увеличивается и сток рек. Приток воды из озера к устью реки не ограничен. По мере зарастания озера свободный приток воды к истоку реки сменяется фильтрацией воды через отмершие остатки растений. Определяется он как $v = Ki$ (где K – коэффициент фильтрации; i – гидравлический уклон).

Известно, что основная масса воды в болотах находится в межклетниках растений, часть ее связана осмотически. Следует учитывать, что с сокращением испарения с водной поверхности (испаряемость) сменяется значительным расходом на транспирацию и физическое испарение (суммарное испарение). При малом количестве осадков суммарное испарение может оказаться очень большим и иногда превышать испаряемость, что также снижает сток с болот.

Сложилось мнение, что реки текут из болот, которые и питают реки. Больше болот – больше воды в реках? Впервые на отрицательное влияние болот на речной сток при исследовании стока рек Белорусского Полесья еще в прошлом веке обращал внимание Е.В. Оппоков, который отмечал, что «...болота, как и леса, являются фактором испарения, а не стока» [16]. Подробное рассмотрение роли болот было им изложено в докладе по результатам исследований специальной экспедиции в Центральном научно-исследовательском институте лесного хозяйства в 1935 г. [17].

Исследования зависимости стока рек и влияния на него болот проводились и позднее. В.В. Рахманов [20], анализируя сток Волги и ее притоков, Северной и Западной Двины и небольших рек Белоруссии с различной степенью заболоченности, установил отрицательное влияние болот на формирование речного стока. Это же подтверждают исследования Ю.М. Корчеха [12]. Изучая роль болот в водном питании рек, А.П. Булавко и Б.С. Маслов [4] отмечают четкое снижение стока по мере роста заболоченности водосборов (табл. 1).

Таблица 1

Влияние заболоченности водосборов на сток рек

Заболоченность, %	4	10...20	20...30	>30
Коэффициент стока, %	0,32	0,28	0,24	0,18

После зарастания озера с годами на нем формируется небольшая протока в виде ручья с ровной поверхностью болота, где почти нет уклона. В.Д. Лопатин [14] при исследовании стока с обширного верхового болота «Гладкое» в Ленинградской области, отмечал, что верховые болота отдают воду только при полном насыщении влагой верхнего сфагнового слоя торфа. По исследованиям К.Е. Иванова [11], в болотных ручьях летом возможно полное прекращение стока на длительное время. Поскольку вода во внутриболотные водотоки

поступает путем фильтрации, то необходим уклон. Х.А. Писарьков [19] отмечал, что приток воды в ручьи, каналы и сток ее происходят только путем фильтрации при определенном напоре. Напор зависит от разности высотных отметок уровней воды в водотоке и торфяном грунте на довольно небольшом расстоянии от водотока. Обычно внутриболотные ручьи единичны, поэтому они в состоянии отводить воду только с небольших участков болот. Для отвода воды с болот и исследования особенностей стока необходима регулярная гидрологическая сеть водотоков (каналов). Рассмотрим такой случай на примере гидромелиорации болот.

Объекты и методы исследования

Объектами наших исследований являлись облесенные олиго- и мезотрофные болота с глубиной торфяной залежи 1,5...3,0 м, осушенные открытыми каналами. Каналы глубиной 1,0...1,2 м в опытных целях были проведены через 65, 130 и 205 м. На практике расстояния между каналами зависят от типа осушаемых болот и климатических условий [5, 6].

Сток изучали на специально созданных водомерных постах с гидрометрическими водосливами, установленными на каналах осушительной сети. Его регистрировали по уровню воды в осушительных каналах на пороге водосливов [1] с помощью самописцев «Валдай». Исследования проводили круглогодично в течение 15 лет.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований показали [2], что формирование, объем стока и внутригодовое его распределение зависят от интенсивности осушения, в данном случае от расстояния между каналами, а также водопроницаемости торфа и ее изменения по глубине торфяной залежи. Изучение фильтрации по глубине выявило существенные изменения водопроницаемости во времени. В год осушения на олиготрофном болоте в верхнем слое до глубины 40...50 см коэффициент фильтрации составлял 25,1 м/сут, на глубине 65...70 см снижался до 2,3 м/сут. На мезотрофном болоте грунтовые воды располагались ниже, коэффициент фильтрации в верхнем слое, на глубине 55...69 см, – 7,9 м/сут, на глубине 73...110 см – 4,6 м/сут.

На олиготрофном торфянике резкое снижение фильтрации связано с особенностями строения торфяной залежи, ее слоистостью. В.Д. Лопатин [14] и К.Е. Иванов [11] отмечают, что там формируются два резко различных по водопроницаемости горизонта: верхний, деятельный (акротелм), где происходят колебания уровня грунтовых вод и сток воды, и подстилающий его нижний, инертный слой (катотелм).

Исследования показали, что после осушения [10] ситуация изменилась. По модулям стока, рассчитанным по наблюдениям за стоком на водомерных постах, были определены коэффициенты фильтрации по формуле Роте:

$$K = q(L^2/(40H^2)),$$

где q – модуль стока с 1 га, л/с;

L – расстояние между осушительными каналами, м;

H – напор воды, см.

Расчеты по модулям стока дают возможность найти водопроницаемость не в каком-то месте торфяной залежи, а для всей исследуемой площади в целом. Некоторая неточность в определении послойной фильтрации остается, поскольку

фильтрующаяся вода вблизи канала поступает по нижним, более плотным горизонтам. Результаты многолетних исследований позволяют проанализировать изменение водопроницаемости во времени по 5-летним периодам (табл. 2).

Таблица 2

Изменение водопроницаемости после осушения облесенных болот

Период (годы) после осушения	Градации уровней грунтовых вод (ГВ) и коэффициентов фильтрации (К)					
	Высокий уровень ГВ		Средний уровень ГВ		Низкий уровень ГВ	
	Напор, см	К, м/сут	Напор, см	К, м/сут	Напор, см	К, м/сут
<i>Олиготрофное болото</i>						
1-й (с 1-го по 5-й)	81	1,68	70	0,84	60	0,45
2-й (с 6-го по 10-й)	65	2,45	55	0,97	44	0,59
3-й (с 11-го по 15-й)	56	2,06	45	0,85	36	0,96
<i>Мезотрофное болото</i>						
1-й (с 1-го по 5-й)	101	9,60	82	2,30	62	0,96
2-й (с 6-го по 10-й)	87	16,68	72	4,66	49	1,34

Можно ожидать существенного снижения водопроницаемости после осушения вследствие осадки торфа. Единого мнения в оценке влияния осушения на водопроницаемость грунтов нет. Г.Д. Эркин [22] и К.П. Лундин [15] указывают на снижение водопроницаемости, а А.Д. Дубах [8] отмечает ее увеличение после осушения. По нашим исследованиям, водопроницаемость после осушения со временем увеличивается. По-видимому, при устойчивом понижении грунтовых вод, особенно в приканавной зоне, происходит вынос из торфа илистых частиц и формирование постоянных линий стока. Определенное влияние оказывает и рыхлящая деятельность корней древесных растений.

Снижение стока рек по мере увеличения заболоченности объясняется тем, что внутриболотные водотоки в виде ручьев собирают воду с ограниченной узкой полосы, примыкающей к водотоку. Фильтрация грунтовых вод возможна только при наличии определенного их уклона, устанавливаемого по отметкам воды в водотоке и уровню грунтовых вод, определяющих напор.

Гидрологические характеристики, обеспечивающие приток воды к каналам глубиной 0,9...1,0 м, расположенным на объектах наших исследований, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Гидрологические характеристики грунтовых вод при прекращении стока

Характеристика грунтовых вод	Олиготрофное болото			Мезотрофное болото
	$l = 65$	$l = 130$	$l = 205$	$l = 128...130$
Глубина, см	45	35	30	65
Напор, см	20	14	22	17
Уклон (i)	0,0035	0,0021	0,0022	0,0021

Примечание. Здесь и далее, в табл. 4, 5, l – расстояние между каналами, м.

По данным табл. 3, коэффициент корреляции стока и напора на объектах наших исследований в соответствии с расстоянием между каналами составляет 0,775; 0,744; 0,664 и 0,744.

Известно, что сток рек в равнинных условиях определяется в основном количеством осадков. В условиях леса существенное влияние оказывает древостой [3], оцениваемый сомкнутостью полога и запасом. После осушения происходит их изменение.

В наших условиях влияние осушения болот и состояния древостоя выражается по-разному. В начале исследований древостой повсеместно характеризовался IV-V классом бонитета при сомкнутости полога 0,4...0,5. Под влиянием осушения класс бонитета на участке мезотрофного болота увеличился с IV до I класса с сомкнутостью до 0,7...0,8. На олиготрофном болоте состояние древостоя изменялось в зависимости от степени осушения: при слабом осушении ($l = 205$ м) сомкнутость полога повысилась от 0,4 до 0,5. Запас древостоя при этом изменился мало: при интенсивном осушении ($l = 65$ м) сомкнутость полога увеличилась до 1,0, запас древостоя – от 15 до 70 м³/га. На мезотрофном болоте запас вырос до 121 м³/га. Влияние степени осушения и состояния древостоя сказалось на величине стока, рассмотренного по 5-летним периодам (табл. 4).

Таблица 4

Сток (мм) с осушенных болот и коэффициент стока (δ) за май–сентябрь 1968–1982 гг.

Период (годы) после осушения	Количество осадков, мм	Олиготрофное болото						Мезотрофное болото	
		$l = 65$		$l = 130$		$l = 205$		$l = 128...130$	
		мм	δ	мм	δ	мм	δ	мм	δ
1-й (1968–1973)	272	73	0,27	54	0,20	32	0,12	49	0,18
2-й (1974–1978)	287	67	0,23	68	0,24	41	0,14	50	0,17
3-й (1979–1982)	308	68	0,22	62	0,20	46	0,15	–	–

Следует отметить вообще низкую величину стока с лесных болот при слабом осушении. Летом (с мая по сентябрь) на участке с каналами, проведенными через 205 м, сток составлял всего 12 % от количества выпавших осадков. Этим и объясняется снижение стока рек при увеличении степени заболоченности [4, 12, 16, 20]. Рост числа водотоков, что видно на участке с каналами, проведенными через 65 м, привел к увеличению стока более чем в 2 раза, $\delta = 0,27$. В этом варианте на сток расходовалось 27 % выпавших осадков.

На сток влияет и состояние древостоя. При некотором увеличении количества осадков во 2-м и 3-м периодах наблюдений (табл. 4) можно было ожидать увеличения стока, что и наблюдалось при слабом осушении ($l = 205$ м). Однако при интенсивном осушении это привело к повышению сомкнутости полога от 0,5 до 0,9...1,0 и прироста древостоя, коэффициент стока снизился от 0,27 до 0,22. Здесь запас древостоя увеличился от 15 до 70 м³/га. Поэтому выросли и транспирационный расход влаги древостоем, задержание осадков кронами и испарение с них, что и вызвало снижение стока.

Для обеспечения полноводности рек особенно важно поступление воды в реки в летний период. Однако летом, вследствие увеличения расхода влаги на транспирацию древостоями и другими растениями, уровень грунтовых вод понижается, напор и сток уменьшаются. Иногда может наблюдаться полное прекращение стока. Согласно закону Дарси, пока есть напор, грунтовые воды имеют уклон к каналам, вода из почвы поступает к каналам, но в очень малом количестве, испаряясь с их откосов и не образуя стока. Такой режим определяется как «нулевой сток». Длительность нулевого стока (табл. 5) возрастает с увеличением расстояния между каналами.

Таблица 5

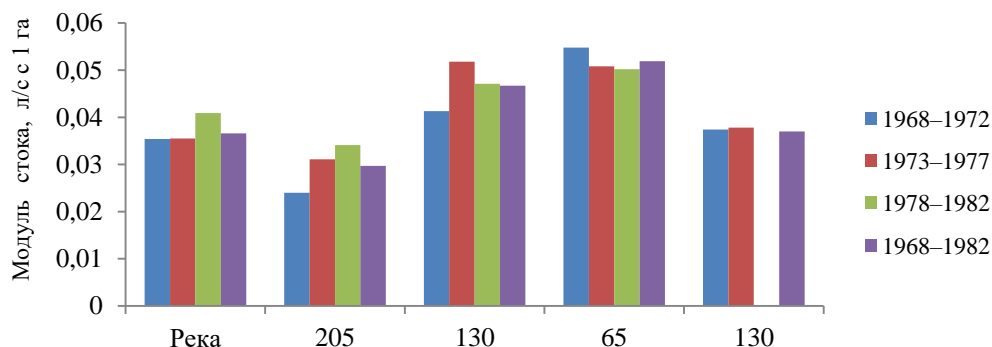
Особенности нулевого стока за май–сентябрь 1968–1982 гг.

Период (годы) после осушения	Количество осадков, мм	$l = 65$	$l = 130$	$l = 205$	$l = 128$
1-й (1968–1972)	272	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{21}$	$\frac{0}{50}$	$\frac{4}{9}$
2-й (1973–1977)	287	$\frac{3}{31}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{47}$	$\frac{2}{57}$
3-й (1978–1982)	308	$\frac{4}{10}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{2}{15}$	–

Примечание. Числитель – число лет с отсутствием стока; знаменатель – средняя продолжительность нулевого стока в днях.

В лесном хозяйстве при осушении болот, проводимом в целях лесовыращивания, устраивается сеть мелких каналов глубиной 1,0...1,2 м, что обеспечивает необходимое понижение грунтовых вод до глубины 0,4...0,5 м (норма осушения). Интенсивность осушения можно изменять, варьируя расстояние между каналами.

В нашем случае, как отмечено выше, каналы проведены на разных расстояниях. Это влияет на рост леса, величину стока и поступление воды в реки при разной интенсивности осушения.



Модуль стока р. Тосно и осушенных болот по периодам (годам) после осушения (объекты: р.Тосно; 205, 130 и 65 м – расстояния между каналами осушенных болот)

Runoff rates of the Tosno river and the drained swamps according to the periods (years) after drainage (study objects: the Tosno river; 205, 130, 65 m – distance between the channels of the drained swamps)

Как видно из диаграмм, приведенных на рисунке, сток с болот в летний период при расстоянии между каналами 65 м выше, чем в реке водоприемника (р. Тосно) на 41 % (0,0519 л/с с 1 га против 0,0360 л/с с 1 га). При расстоянии 130 м сток по каналам превышает речной сток на 37 %, составляя 0,0467 л/с с 1 га. При слабом осушении, когда каналы проведены через 205 м, сток с 1 га составляет 0,0297 л/с, что на 19 % ниже, чем в реке. Сток с мезотрофного болота (последняя группа диаграмм) также превышает речной сток. Исследования показывают, что если осушение редкой сетью каналов ($l = 205$ м) не улучшает водное питание рек с болот, то тем более не могут его улучшать неосушенные болота даже при наличии отдельных водотоков в виде ручьев,

что и показано в работах А.П. Булавко, Б.С. Маслова, Ю.М. Корчехи, Е.В. Оппокова, В.В. Рахманова [4, 12, 16, 17, 20] и др.

Следовательно, гидромелиоративная сеть болот улучшает водное питание рек, снижает пик весеннего половодья. На равнинных реках наиболее высокий сток наблюдается в апреле. В годовом балансе р. Тосно на апрель приходится 42 % годового стока; на болоте, осушаемом каналами, проведенными через 65 м, сток в апреле составляет 33 % от годового, при наличии каналов, проведенных через 130 м, – 35 %, а там, где каналы расположены через 205 м, на апрельский паводковый сток приходится 37 %. На мезотрофном торфянике сток в апреле равен 36 % от годовой величины стока. Гидромелиорация болот, снижая сток весеннего половодья, выравнивает годовой сток. Сток с осушенных мезотрофных торфяников более выровнен по сезонам года и остается летом более высоким, чем в водоприемнике, способствуя улучшению питания рек.

Надо помнить, что осушение болот в целях лесного хозяйства это не иссушение болот, как иногда считают, а регулирование водного режима почв за счет снижения уровней грунтовых вод на глубину не более 0,5 м. При этом болота остаются таковыми, хотя и называются «осушенными».

Заключение

Осушение лесных болот, проводимое в целях выращивания высокопродуктивных древостоев, имеет давнюю историю [1, 23]. С момента проведения первых крупных осушительных работ, точнее гидромелиорации, еще в конце XIX в., после осушения болот Белорусского Полесья, появились публикации в средствах массовой информации об отрицательном влиянии осушения болот на водное питание рек. Многочисленные исследования, сопоставление стока рек и влияния на сток заболачивания не признавались убедительными.

Многолетние исследования на стационарах показывают, что заболачивание озер и истоков рек ухудшает водное питание рек. Гидромелиорация болот сетью неглубоких каналов не только улучшает водное питание рек, но и во многих случаях позволяет сохранить их.

Болота при осушении для лесовыращивания не исчезают как хранители воды. Например, осушенное в 1841 г. известное среди лесоводов болото «Суланда» в Лисинском учебно-опытном лесхозе Ленинградской области существует и сегодня. В настоящее время там произрастает высокобонитетный древостой с запасом до 600 м³/га [18]. Каждую весну в нем грунтовые воды заполняют поры почвы, иногда выходя на поверхность.

Следует помнить, что представленные в природе существующие болота постоянно увеличиваются. Например, в Карелии ежегодный прирост болот достигает 300...400 га. Растут болота и в высоту, повышая слой отложенного торфа до 2...3 мм ежегодно [13].

Известные рассуждения о сохранении биоразнообразия болотных ассоциаций в большей степени относятся к бедным болотам олиготрофного типа, а осушаются для лесовыращивания богатые питательными веществами эвтрофные болота, которые мало отличаются по составу растительности от обычных лесных ассоциаций влажных лесорастительных условий. Незначительна сегодня и площадь болот, осушенных в лесном хозяйстве. Болота растут, а реки мелеют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабииков Б.В.* Экология сосновых лесов на осушенных болотах. СПб.: Наука, 2004. 165 с.
2. *Бабииков Б.В.* Водорегулирующие свойства осушенных лесов и водное питание рек // Лисино. 200 лет служения лесам России. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 181–187.
3. *Бабииков Б.В.* Расход влаги с осушенных лесных болот // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 14–17. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Булавко А.Г., Маслов Б.С.* Водорегулирующее значение болот и последствия их осушения // Гидротехника и мелиорация. 1988. № 8. С. 53–56.
5. *Вомперский С.Э.* Современные вызовы обоснованию гидромелиораций с позиций биогеоценологии // Лесн. хоз-во. 2008. № 4. С. 18–19.
6. *Вомперский С.Э., Сириин А.А., Глухов А.И.* Формирование и режим стока при гидроремелиорации. М.: Наука, 1988. 167 с.
7. *Докучаев В.В.* По вопросу об осушении болот вообще и в частности об осушении Полесья // Тр. С.-Петербур. об-ва естествоиспытателей. 1875. Т. VI. С. 131–185.
8. *Дубах А.Д.* Очерки по гидрологии болот. Л.: ЦУЕГМС СССР, 1936. 120 с.
9. *Елина Г.А.* Многоликие болота. Л.: Наука, 1987. 191 с.
10. *Елпатьевский М.П.* Лесная осушительная мелиорация: моногр. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1957. 120 с.
11. *Иванов К.Е.* Основы гидрологии болот лесной зоны и расчеты водного режима болотных массивов: моногр. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 500 с.
12. *Корчеха Ю.М., Михальцев П.Д.* Некоторые аспекты исследований влияния осушения на мелиорируемые и прилегающие территории в Припятском Полесье Белорусии // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды: сб. науч. тр. Вып. 1. Минск: Урожай, 1977. С. 61–68.
13. *Кузьмин Г.Ф.* Болота и их использование: сб. науч. тр. Вып. 70. СПб.: ВНИИТП, 1993. 140 с.
14. *Лопатин В.Д.* О гидрологическом значении верховых болот // Вестн. ЛГУ. 1949. № 2. С. 37–49.
15. *Лундин К.П.* Водные свойства торфяной залежи. Минск: Урожай, 1964. 210 с.
16. *Оппоков Е.В.* О гидрологической роли болот // Сельское хозяйство и лесоводство. 1909. № 9. С. 37–57.
17. *Оппоков Е.В.* О гидрологической роли болот и лесов // Стенограф. отчет ЦНИИЛХ, 20–23 апр. 1935 г. С. 12–19.
18. *Пахучий В.В., Пахучая Л.М.* Лесоводство на заболоченных землях: моногр. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. 232 с.
19. *Писарьков Х.А.* Модули расчетного и фактического стока из дренажных систем // Тр. СевНИИГиМ. Вып. IX. 1939. С. 5–36.
20. *Рахманов В.В.* Осушение болот и водные ресурсы // Гидротехника и мелиорация. 1976. № 2. С. 63–69.
21. *Сукачев В.Н.* Болота, их образование, развитие и свойства // Избр. тр. Т. II. Л.: Наука, 1973. С. 97–188.
22. *Эркин Г.Д.* Водопроницаемость болот в связи с их осушением. Минск: АН БССР, 1940. 124 с. (Тр. ВНИИ болотного хозяйства. Т. 10, вып. 2).
23. *Heikurainen L.* The Influence of Forest Drainage on Growth and Removal in Finland // Acta Forestalia Fennica. 1961. Vol. 71, no. 8. Pp. 1–71.

UDC 630*237

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38

The Hydrological Role of Wetlands and Water Supply of Rivers

B.V. Babikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutski per., 5,
Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: subota_m@mail.ru

The influence of wetlands on the water supply of rivers has been discussed in media and some academic papers for more than 100 years. The first papers were published after draining the Polesye wetlands in Belarus in 1880's. Formation and hydrological role of wetlands in biosphere are considered. The influence of wetlands on the water supply of rivers is shown on the basis of multi-year stationary research. The reasons for reducing of water discharge in rivers with overgrowing of lakes and formation of wetlands on their place are described. The features of value of water flow from drained swamps in rivers obtained in 15-years stationary water-balance research were calculated according to the runoff rates. Water permeability of wetlands along the peat deposit depth were studied. The reasons for change in filtration of groundwater after hydromelioration of wetlands were established. The influence of steam flows inside the swamps on water discharge and entry of water into rivers were studied. There is a break in water flow from wetlands to rivers, especially in summer period. The reasons for "drainless periods" duration and the concept of "zero flow" (when groundwater flows into channels, but does not enter rivers) were explained. The influence of hydromelioration on the growth of pine forest stands, the improvement of their bonitet class in swamps were studied. The dependence of water discharge on bonitet class of forest stands was shown. It was established that water discharge from drained swamps during the year is more leveled off by reducing the spring flood flow and increasing the flow in summer period, which ensures the uniformity of river water supply.

Keywords: water balance, water discharge, filtration, water permeability.

REFERENCES

1. Babikov B.V. *Ekologiya osnovnykh lesov na osushennykh bolotakh* [Ecology of Pine Forests in Drained Bogs]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 2004, 165 p. (In Russ.)
2. Babikov B.V. *Vodoreguliruyushchiye svoystva osushennykh lesov i vodnoye pitaniye rek* [Water-Regulating Properties of Drained Forests and Water Supply of Rivers]. *Lisino. 200 let sluzheniya lesam Rossii* [Lisino. 200 Years of Service to the Forests of Russia], Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2009, pp. 181–187. (In Russ.)
3. Babikov B.V. *Raskhod vlagi s osushennykh lesnykh bolot* [Water Discharge from the Wooded Bogs]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], no. 1, 2012, pp. 14–17.
4. Bulavko A.G., Maslov B.S. *Vodoreguliruyushcheye znachenie bolot i posledstviya ikh osusheniya* [Water-Regulating Role of Bogs and Consequences of Their Drainage]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Melioration], 1988, no. 8, pp. 53–56.
5. Vomperskiy S.E. *Sovremennyye vyzovy obosnovaniyu gidromelioratsiy s pozitsiy biogeotsenologii* [Contemporary Challenges to Justification of Hidrotechnology from the Position of Biogeocenology]. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2008, no. 4, pp. 18–19.
6. Vomperskiy S.E., Sirin A.A., Glukhov A.I. *Formirovaniye i rezhim stoka pri gidrolesomelioratsii* [Formation and Runoff Regime during Hydromelioration]. Moscow, Nauka Publ., 1988, p. 167. (In Russ.)

For citation: Babikov B.V. The Hydrological Role of Wetlands and Water Supply of Rivers. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 38–47. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.38

7. Dokuchayev V.V. Po voprosu ob osushenii bolot voobshche i v chastnosti ob osushenii Poles'ya [Issues of Bogs Drainage in General, and Polesye Drainage in Particular]. *Tr. S.-Peterburgskogo obshchestva estestvoispytateley* [Proceedings of St. Petersburg Society of Naturalists], 1875, vol. 6, pp. 131–185.

8. Dubakh A.D. *Ocherki po gidrologii bolot* [Essays on the Hydrology of Wetlands]. Leningrad, TSUEGMS Publ., 1963, 120 p. (In Russ.)

9. Elina G.A. *Mnogolikiye bolota* [Many Faces of Wetlands]. Leningrad, Nauka Publ., 1987, 191 p. (In Russ.)

10. Elpat'yevskiy M.P. *Lesnaya osushitel'naya melioratsiya* [Forest Drainage Melioration]. Ed. by M.P. Elpat'yevskiy. Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1957, 120 p. (In Russ.)

11. Ivanov K.E. *Osnovy gidrologii bolot lesnoy zony i raschety vodnogo rezhima bolotnykh massivov* [Fundamentals of Hydrology of Wetlands in the Forest Zone and Calculations of its Moisture Regime]. Ed. by K.E. Ivanov. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1957, 500 p. (In Russ.)

12. Korchekha Yu.M., Mikhal'tsev P.D. Nekotoryye aspekty issledovaniy vliyaniya osusheniya na melioriruyemyye i prilgayushchiye territorii v Pripyatskom Poles'ye Belorussii [Some Aspects of Research on the Effect of Drainage of Meliorated and Adjacent Areas in Pripyatskoye Poles'ye, Belarus]. *Melioratsiya zemel' Poles'ya i okhrana okruzhayushchey sredy*: sb. nauch. tr. [Polesye Land Melioration and Protection of the Environment: Collection of Academic Papers]. Saint Petersburg, 1977, pp. 61–68. (In Russ.)

13. Kuz'min G.F. *Bolota i ikh ispol'zovaniye*: sb. nauch. tr. [Swamps and Their Usage: Collection of Academic Papers]. Saint Petersburg, VNIITP Publ., iss. 70, 1993, 140 p.

14. Lopatin V.D. O gidrologicheskom znachenii verkhovykh bolot [The Hydrological Significance of High Bogs]. *Vestnik LGU* [Vestnik of Leningrad State University], 1949, no. 2, pp. 37–49.

15. Lundin K.P. *Vodnyye svoystva torfyanoy zalezhi* [Water Properties of Peat Deposits]. Minsk, Uradzhay Publ., 1964, 210 p. (In Russ.)

16. Oppokov E.V. O gidrologicheskoy roli bolot [Hydrological Role of Wetlands]. *Sel'skoye khozyaystvo i lesovodstvo* [Agriculture and Forestry], 1909, no. 9, pp. 37–57.

17. Oppokov E.V. O gidrologicheskoy roli bolot i lesov [Hydrological Role of Swamps and Forests]. *Stenograficheskiy otchet TSNILKH, 20–23 apr. 1935 g.* [TSNILKH Verbatim Report., April 20–23, 1935]. Pp. 12–19. (In Russ.)

18. Pakhuchiy V.V., Pakhuchaya L.M. *Lesovodstvo na zabolochennykh zemlyakh*: monogr. [Forestry in Wetlands. Monography]. Saint Petersburg, SPbGLTU Publ., 2017, 232 p. (In Russ.)

19. Pisar'kov Kh.A. Moduli raschetnogo i fakticheskogo stoka iz drenazhnykh sistem [Rates of Actual and Estimated Runoff from Drainage Systems]. *Tr. SevNIIGiM* [Academic Papers of SevNIIGiM], 1939, iss. 9, pp. 5–36.

20. Rakhmanov V.V. Osusheniye bolot i vodnyye resursy [Drainage of Wetlands and Water Resources]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Melioration], 1976, no. 2, pp. 63–69.

21. Sukachev V.N. Bolota, ikh obrazovaniye, razvitiye i svoystva [Swamps. Development, Extension and Properties]. *Izbr. tr. T. 2* [Selectas. Vol. 2], Leningrad, Nauka Publ., 1973, pp. 97–188.

22. Erkin G.D. Vodopronitsayemost' bolot v svyazi s ikh osusheniyem [Water Permeability of Bogs in Connection with Their Drainage]. *Tr. VNII bolotnogo khozyaystva* [Academic Papers of Wetland Management VNII]. Minsk, AS BSSR Publ., 1940, vol. 1, iss. 2, 124 p.

23. Heikurainen L. The Influence of Drainage on Forest Growth and Removal in Finland. *Acta Forestalia Fennica*, 1961, vol. 71, no. 8, pp. 1–71.

Received on April 18, 2018

УДК 691.113+630*165

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48

МНОГООБРАЗИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЕЙ

А.П. Царев, д-р с.-х. наук, проф.

Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, ул. Ломоносова, д. 105, г. Воронеж, Россия, 394087;

e-mail: antsa-55@yandex.ru

К настоящему времени в России отмечена тенденция к увеличению площадей осиновых насаждений (по официальным данным до 24...25 млн га с запасом до 3 715 млн м³), имеются также насаждения других видов тополей (962 тыс. га с запасом 144 млн м³). Но ввиду истощения здоровых осинников и неразвитости инфраструктуры переработки и использования тополевого сырья этот ценный ресурс в нашей стране востребован недостаточно. Цель настоящей работы – анализ использования древесных ресурсов рода тополь в прошлом и рассмотрение возможностей расширения их потребления в современных условиях на примерах отечественного и зарубежного опыта. Изучение литературных источников и собственные наблюдения автора позволяют констатировать, что в XVIII–XX вв. в нашей стране осинная древесина в основном использовалась в бытовых целях, но постепенно она внедрялась и в промышленное производство: строительство; изготовление изделий; производство тары, спичек, фанеры, картона и бумаги; химическая переработка; углежжение, топливо, веточный корм и др. Во второй половине XX в. и в начале XXI в. применение древесины осины и тополей резко возросло во всем мире за счет как расширения направлений ее использования в традиционных целях, так и создания новых материалов с применением новых технологий. Выделяют следующие позиции применения древесины тополей и осины: пиловочник и разнообразные древесные материалы – строительный брус, вагонка, колодезные срубы и др.; композиты и панели – шпон и фанера, древесноволокнистые, древесностружечные и ориентировано стружечные плиты, древесноцементные и древесно-пластиковые композиты; клееные строительные изделия – ламинированные стружечные и шпоновые брусья, параллельно стружечные брусья, интегрированные лаги; целлюлоза и бумага; энергия биомассы и др. В работе приведена краткая характеристика перечисленных материалов. С учетом имеющегося опыта применения новых технологий и огромные запасы осиново-тополевого сырья в России предложено использовать их более эффективно.

Ключевые слова: древесина, тополь, осина, древесноволокнистые плиты, древесностружечные плиты, ориентировано стружечные плиты, ламинированные стружечные брусья, параллельно стружечные брусья, ламинированные шпоновые брусья, энергия биомассы.

Введение

В лесах России идет постепенное, но неуклонное увеличение доли осины в составе древостоя. По официальным данным лесоустройства на 01.01.1956 г., осиновыми лесами было занято 13,9 млн га [11], а на 01.01.2014 г. – уже 24,04 млн га с запасом древесины 3 715 млн м³ [7]. При этом ежегодный прирост площадей осины с 1956 по 2011 г. колебался от 12 до 40 тыс. га [7, 12, 13,

Для цитирования: Царев А.П. Многообразие использования древесины тополей // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 48–64. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48

14, 19, 25], в последние годы (с 2011 по 2014 г.) он увеличился до 80 тыс. га. Фактически осины в лесах, конечно, больше. Однако в соответствии с Лесо-устроительной инструкцией [18], если в насаждении присутствует 30 % семенного дуба, сосны сибирской, корейской (или других главных пород), то насаждение учитывается как представленное этими породами, а не осиной, даже если в составе ее 60...70 %.

Кроме того, в России к 2011 г. насчитывалось около 962 тыс. га насаждений других видов тополей с запасом древесины 144 млн м³ [19].

Накапливаемые запасы осины используются плохо или зачастую просто остаются нетронутыми рубками. С одной стороны, это обусловлено тем, что после многочисленных приисковых рубок на спичечный кряж и другие нужды, требующие здоровую древесину, в насаждениях оставались только экземпляры, пораженные сердцевинной гнилью, вызываемой грибами (*Fellinus tremula* и др.), с другой – неразвитостью инфраструктуры переработки и путей рационального использования древесины осины, также как и других видов тополей в стране. Следовательно, необходимо, во-первых, проводить генетико-селекционные работы по выведению быстрорастущих и гнилеустойчивых форм осины и тополей и разрабатывать приемы по их ускоренному выращиванию, во-вторых, развивать производственные мощности и технологии по использованию как имеющихся, так и прогнозных ресурсов древесины мягколиственных древесных пород.

На возможность селекции и выращивания гнилеустойчивых форм осины и быстрорастущих генотипов тополей неоднократно обращалось внимание в научных публикациях и отечественных, и зарубежных исследователей [3, 5, 6, 8, 23, 24, 29, 30, 32, 35–39, 42, 43, 45, 47, 49, 51, 52]. Кроме того, исследователи древесины указывали не только на возможность, но и на необходимость использования осины и тополей, причем не только в прошлом [2, 10, 17], но и в последние десятилетия [21, 26, 34, 50 и др.].

Особенно интенсивно используется древесины тополей в последние десятилетия в Китае, Индии, в странах Южной Америки, где на миллионах гектаров созданы тополевые плантации, большей частью на орошении, для снабжения древесиной перерабатывающих производств. Однако если в зарубежных странах бурно развиваются отрасли промышленности, перерабатывающие осиновую и тополевую древесину, то в нашей стране это наблюдается в гораздо меньшей степени. Многие годы идут разговоры о том, что делать с десятками миллионов кубометров осины в Подмосковье. Разрабатываются специальные виды рубок и других мероприятий в лесах Ленинградской области для уничтожения осины. При этом практикуются приемы рубки крупногабаритных деревьев осины и оставления их на перегнивание, чтобы через 40...50 лет и более, возможно, вырастить ель. В Астраханской области после ликвидации целлюлозно-картонного комбината не знают, что делать с насаждениями быстрорастущих тополей.

В отличие от нашего нерационального отношения к природным богатствам ряд стран используют для производства строительных материалов даже так называемую вторичную древесину, которую получают из отживших свой век построек, мебели и других предметов хозяйственного обихода [34, 50].

В связи с этим целью настоящей публикации является рассмотрение вопроса о возможности использования осиновой и тополевой древесины и ее рациональной утилизации как в нашей стране, так и за рубежом.

Краткая характеристика древесины некоторых видов рода Populus

Древесина осины и других видов тополей, как правило, имеет прямые волокна и однородную текстуру, легко обрабатывается. В сухом виде она белого цвета, без запаха и смол, что ценится достаточно высоко.

Характеристики древесины огромного количества видов (более 250), а также перечень разнообразных продуктов и технологий их производства в виде натуральной древесины или различных композиционных материалов на ее основе приведены в справочнике «Древесина как инженерный материал» [50], который издан лабораторией лесных продуктов сельскохозяйственного департамента США в 2010 г. и приурочен к 100-летию данной лаборатории. Для характеристики древесины и продуктов на основе европейской осины *Populus tremula* L. и других видов тополей использовались данные и из этого справочника.

Плотность древесины при влажности 12 % колеблется в зависимости от видовой принадлежности, возраста и условий произрастания. По данным Б.Д. Уголева [21] она составляет 495 кг/м³ для осины и 455 кг/м³ для тополя (к сожалению, в работе не указан вид). В Центральной лесостепи осина 5-го класса возраста при аналогичной влажности имеет плотность 500...502 кг/м³ для условий С₂ и 450...498 кг/м³ для условий Е₃ [24]. У американских видов (*P. tremuloides* и *P. grandidentata*) при влажности древесины 12 % удельный вес варьирует от 0,38 до 0,39 г/см³ [50].

Исследование плотности древесины разных сортов и клонов тополей 9-летнего (из Волго-Ахтубинской поймы Астраханской области) и 11-летнего (в пойме р. Кубань Краснодарского края) возраста показало значительное варьирование этого показателя [33]. Так, в первом случае наиболее высокая плотность отмечена у местного тополя черного (544 кг/м³), самая низкая – у тополя Русского (345 кг/м³). У евро-американских гибридов черных тополей (Брабантика-175, Каролинский-62, Робуста-236, Сакрау-59, Вернирубенс) этот показатель изменялся от 459 до 488 кг/м³. В пойме р. Кубань плотность у евро-американских тополей (Робуста-236, I-154, Вернирубенс) составляла 419...432 кг/м³. Для сравнения: плотность древесины наших главных пород (сосны и дуба), по данным Б.Д. Уголева [21], соответственно 505 и 690 кг/м³.

Некоторые другие показатели физико-механических свойств древесины тополей, произрастающих в России, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические показатели древесины тополей (влажность 12 %)

Показатель	Осина	Тополь	Цитируемый источник
Прочность при сжатии вдоль волокон: МПа кг/см ²	43 331...359	40 –	Уголев, 2007 [21] Tsarev, 2013 [47]
Прочность при растяжении вдоль волокон, МПа	121 –	88 44,8...91,7	Уголев, 2007 [21] Якимов и др., 1981 [33]
Прочность при растяжении поперек волокон, МПа	7,1	–	Уголев, 2007 [21]
Прочность при статическом изгибе: МПа кг/см ²	77 653...673	68 40,3...81,4	Уголев, 2007 [21] Якимов и др., 1981 [33] Tsarev, 2013 [47]
Прочность при скалывании вдоль волокон, МПа	6,2 –	6,0 6,0...10,4	Уголев, 2007 [21] Якимов и др., 1981 [33]
Статическая твердость, Н/мм ² :			
торцевая	25,8	26,7	
радиальная	18,7	18,5	Уголев, 2007 [21]
тангентальная	19,6	–	

Если сопоставить данные табл. 1 с аналогичными показателями сосны и дуба по Б.Д. Уголеву [21], то выяснится, что более низкие показатели прочности при статическом изгибе и скалывании вдоль волокон, а также статической твердости наблюдались у осины и тополей. Однако осина оказалась более прочной, чем сосна: при сжатии поперек волокон – 5,4 МПа против 5,1 МПа, при растяжении вдоль волокон – 121 МПа против 109 МПа, при растяжении поперек волокон – 7,1 МПа против 5,4 МПа. При этом и осина, и тополь уступали по этим показателям древесине дуба.

Следует отметить, что древесина осины и других видов тополей хорошо впитывает обрабатывающие растворы, краски и клеи, что позволяет использовать ее в широком спектре изделий.

По химическому составу древесина осины состоит из целлюлозы – 42...52 %, лигнина – 17...22 %, гемицеллюлоз (пентозанов и гексозанов) – 17...24 и 2,6...4,5 % соответственно и некоторых других веществ [21]. По содержанию целлюлозы она близка к ели (42...51 %) и сосне (40...49 %), значительно превышая по этому показателю дуб (37 %). Состав американской осины (*P. tremuloides*): целлюлоза – 53 %, гемицеллюлозы – 31 %, лигнин – 16 % [34]. Высокое содержание целлюлозы и довольно низкое содержание лигнина позволяет использовать эту древесину в целлюлозно-бумажной промышленности.

Традиционное использование древесины осины и других видов тополей

На возможность использования древесины осины и других тополей обращали внимание у нас в стране еще во времена зарождения научного лесоводства, а также на протяжении XX в. [1, 2, 4, 5, 9, 10, 15–17, 20, 22, 24, 32 и др.]. Более 50 лет тому назад А.С. Яблоков в своем обстоятельном обзоре [32] указывал на многообразии применения *Populus tremula* L., приводя наиболее используемые направления.

Строительный материал. Брусья для постройки домов, стропила, балки для потолков, доски для пола, дрань для кровли, обшивка погребов и колодцев, шпалы (после пропитки антисептиками), рудстойка и др. Отдельные элементы кровельной драни называются гонтом, а в Карелии – лемехами. Они использовались для кровли храмов (рис. 1).

Подделочный материал. Мебель, рамы, деревянная посуда, детские игрушки и различные изделия домашнего обихода. В середине XX в. во Франции изготавливали мебель из древесины черных тополей.

Производство тары. Бочки для перевозки и хранения соли, сахара, муки, извести, крахмала, меда, соленых грибов и др., ящики, кадки. Древесная шерсть (мелкая стружка из осины) для упаковки плодов, яиц и др. Во Франции из шпона черных тополей толщиной 1...3 мм производили ящики для перевозки фруктов, овощей, упаковки сыра и др.

Спички и фанера. Использование осинового кряжа в производстве спичек и спичечного шпона как для собственного потребления, так и на экспорт значительно истощили запасы здоровой осины в лесах СССР. Теперь нужны немалые усилия, чтобы найти здоровые осинники. В связи с этим необходимо проводить специальные работы по гибридизации и селекции осины.

Целлюлозно-бумажная и вискозная промышленность. Осина и другие тополя отличаются небольшими размерами древесинных волокон. Их длина у тополя в среднем около 1,0 мм при варьировании от 0,70 до 1,60 мм, у осины – от 0,55 до 1,60 мм. При этом диаметр волокон составляет 17...44 мкм



а

б

Рис. 1. Примеры использования осины в строительстве: *а* – кровля лемехами маковок церкви XVI в. на о. Кижы в Карелии (сентябрь 2010 г., фото Н.В. Лаур); *б* – кровля из осинового гонта маковки церкви в Саввино-Сторожевском монастыре в г. Звенигород (апрель 2017 г., фото А.П. Царева)

Fig. 1. The use of aspen in construction: *a* – wood shingle roofing of onion domes of the 16th century church, Kizhi island, Kareliya (September, 2010, photo by N.V. Laur); *b* – aspen shingle roofing of onion dome of the church in Savvino-Storozhevsky Monastery in Zvenigorod (April, 2017, photo by A.P. Tsarev)

для тополя и 20...44 мкм для осины [21]. Размеры волокон у американских видов осин и тополей несколько выше (длина – около 1,3 мм, диаметр – 20...30 мкм) [34]. Несмотря на небольшую длину волокна достоинства осины (белизна и мягкость древесины, отсутствие в ней красящих веществ и смол, проницаемость для кислот и щелочей) позволяют использовать ее для производства бумаги. Раньше целлюлоза из осины шла на изготовление искусственного шелка.

Химическая переработка и топливо. Из древесины осины и тополя производились уголь, деготь, уксусная кислота, из пентозанов получался фурфурол. Осиновые дрова, дающие длинное некоптящее пламя, применялись для обжига глиняных изделий (черепица, кирпич, гончарные изделия), прочистки дымоходов и др.

Корм и лекарственное сырье. Ветви и листья использовались в качестве корма для скота. В коре осины и тополей содержится популин, который может применяться вместо салицина для лечения некоторых заболеваний.

Современное использование древесины осины и других видов тополей

В XXI в. предложены новые направления использования древесины и древесной массы из осины и тополя. Особенно они развиты в странах Северной и Южной Америки, Западной Европы, в Китае, Индии и др. В настоящей статье приводится только краткий перечень направлений применения древесины некоторых видов рода *Populus* (табл. 2).

Таблица 2

Некоторые позиции применения древесины тополей

№ п/п	Наименование продукции	
	на русском языке	на английском языке
1	Пиловочник и другие древесные материалы	<i>Saw log and other wood materials</i>
2	Композиты и панели	<i>Composites and panel products</i>
2.1	Шпон и фанера	<i>Veneer and plywood</i>
2.2	Древесноволокнистые плиты (ДВП)	<i>Fiber board</i>
2.3	Древесностружечные плиты (ДСтП)	<i>Particleboard</i>
2.4	Ориентировано стружечные плиты (ОСП)	<i>Oriented strandboard (OSB)</i>
2.5	Древесно-цементные композиты (ДЦК)	<i>Wood-cement composites</i>
2.6	Древесно-пластиковые композиты (ДПК)	<i>Wood-plastic composites</i>
3	Клееные строительные изделия	<i>Glued structural products</i>
3.1	Ламинированные стружечные брусья (ЛСБ)	<i>Laminated strand lumber (LSL)</i>
3.2	Параллельно стружечные брусья (ПСБ)	<i>Parallel strand lumber (PSL)</i>
3.3	Ламинированные шпоновые брусья (ЛШБ)	<i>Laminated veneer lumber (LVL)</i>
3.4	Интегрированные лаги	<i>I-joists</i>
4	Целлюлоза и бумага	<i>Pulp and paper</i>
5	Энергия биомассы	<i>Biomass energy</i>

Приведем краткие характеристики перечисленных в табл. 2 позиций применения тополевой древесины [21, 38, 47–51 и др.].

1. *Пиловочник и другие натуральные древесные материалы.* По качеству пиломатериалы из тополя уступают другим древесным породам. Так, исследования в США показали, что только 15 % пиломатериалов из тополя были отнесены к высокому качеству (отборные – 1-го сорта), 25 % – к среднему (2-го и 3-го сорта), 60 % – к низкому. Поэтому для использования тополевой древесины необходима более глубокая ее переработка.

2. *Композиты и панели.* Композиты на сегодняшний день имеют широчайшие возможности для применения. Это обусловлено тем, что для их изготовления не требуются деревья большого диаметра, а форма ствола не является критичной. Однако к некоторым композитам предъявляются специфические требования по содержанию коры, минимальному диаметру, длине волокна или обесцвечиванию. С другой стороны, для производства композитов можно использовать отходы и вторичную древесину, что часто делается в Европе. Эффективность преобразования исходных бревен в готовые пиломатериалы редко превышает 45 %, тогда как эффективность для композитов может варьировать от 50 до 95 %, в зависимости от типа продукта [34].

В составе композита два или более элементов с ценными характеристиками объединяются в новый материал, часто новый материал имеет больше полезных свойств, чем входящие в него составляющие.

2.1. *Шпон и фанера.* Тополевая древесина подходит для производства шпона и фанеры, но для этого требуется кряж самого высокого качества. Тополевые свежесрубленные бревна из-за их низкой плотности и высокой влажности требуют предварительной подготовки. Оптимальная температура окорки тополей около 16 °С, но подходящий результат можно получить в пределах 7...30 °С [34]. Таким образом, даже в зимние месяцы температура бревен должна быть около 7 °С. Толщина получаемого шпона, как правило, составляет 2,1...5,0 мм в зависимости от типа изготавливаемой фанеры (рис. 2).

Тополевая фанера отличается низкими значениями плотности и веса, используется для изготовления мебели. Она может облагораживаться покрытием облицовочным шпоном из декоративной древесины (орех, дуб, каштан и др.). В Китае используется древесина даже с сердцевинной красниной и гнилью. В этом случае лущение шпона производится до пораженной части, а цветной шпон закладывается в средние слои фанеры (рис. 2).



Рис. 2. Изготовление фанеры и мебельных плит из тополя: *a* – разгрузка тополевых бревен; *б* – получение шпона; *в* – сушка шпона; *г* – складирование шпона; *д* – изготовление фанеры; *е* – мебельные фанерные плиты из тополя, облицованные дубовым шпоном (КНР, ноябрь 2008; фото А.П. Царева)

Fig. 2. Production of plywood and lumber core boards from poplar: *a* – unloading of poplar logs; *б* – formation of veneer; *в* – drying of veneer; *г* – grading and packing of veneer; *д* – production of plywood; *е* – lumber core boards from poplar veneered with oak (People's Republic of China, November, 2008, photo by A.P. Tsarev)

Кроме того, из остающихся при изготовлении фанеры сердечников бревен, если они не поражены сердцевинной гнилью, могут производиться держатели жестких стеллажей для различных товаров. Тополевый шпон характеризуется отсутствием смол, запаха и легко поддается пропитке различными веществами. Его широко используют в спичечной промышленности, а также в качестве упаковки (фруктовые и овощные корзины, коробки для сыра и др.).

2.2. Древесноволокнистые плиты. Термин древесноволокнистые плиты (ДВП) включает в себя группу товаров, в которых компонентами материала являются волокна и их пучки. Различают три основных продукта: изоляционный картон (доска изоляции – *board*), ДВП средней плотности (MDF – *medium-density fiber board*) и ДВП-оргалит (*hardboard*). Сырьем обычно служат отходы: стружки, опилки, древесная щепа.

Доска изоляции имеет самую низкую плотность из различных ДВП ($190...380 \text{ кг/м}^3$), ее производство не предполагает горячего прессования.

ДВП средней плотности (ДВПСП) – это полученный сухим способом составной продукт, произведенный из лигноцеллюлозных волокон в сочетании с синтетическими смолами и другими добавками, которые объединены в жесткую панель при высоких температуре и давлении. Плотность ДВПСП составляет $500...800 \text{ кг/м}^3$. Материал используется для изготовления мебели, молдингов (лепных украшений) и шкафов.

ДВП-оргалит имеет наивысшую плотность ($625...1100 \text{ кг/м}^3$). Он широко применяется в строительстве (сайдинг, облицовка гаражей, межкомнатные двери), а также при изготовлении мебели, стеллажей в магазинах, игрушек, автомобильных интерьеров и т. п.

2.3. Древесностружечные плиты (ДСтП) – это составные панели, изготовленные из частиц или хлопьев из дерева и других лигноцеллюлозных материалов, в которых частицы соединяются с помощью синтетических клеев. ДСтП производят плотностью $550...800 \text{ кг/м}^3$. Тополя хорошо подходят для изготовления ДСтП, особенно из-за своей хорошей гибкости и сжимаемости.

2.4. Ориентировано стружечные плиты (ОСП) – это инженерно-спроектированные структурные панели, изготовленные из прядей, больших хлопьев или слоев, как правило, отрезанных от бревна малого диаметра. Панели часто имеют слоистую конструкцию, как фанера, где в поверхностном слое пряди будут выровнены по длине панели, в то время как внутренний слой состоит из перекрестно или случайно расположенных прядей. Размеры слоя, которые используются большинством производителей, находятся в диапазоне $150 \times 25 \text{ мм}$. Отрасль ОСП начала развиваться из производства ДСтП в Канаде с использованием осины примерно в 1980 г. В настоящее время ОСП выпускают по всему миру. Они имеют широкий спектр применения, включая строительство, упаковку и тару, поддоны, каркасы мебели и др.

2.5. Древесно-цементные композиты. Они представляют собой смесь прядей, частиц, стружки или волокон древесины с цементом (обычно с порландцементом), из которой изготавливают панели, плитки, брусья, блоки, кирпич и другие продукты, используемые в строительной отрасли. Серийно выпускаемые композиты могут содержать по массе от 5 до 70 % частиц, стружки или волокон древесины. Тополя подходят для древесно-цементных композитов. Для изготовления древесно-цементных панелей повышенной прочности (эксцельсиор-панели) обычно используют древесную шерсть (тонкие длинные стружки) из осины. В этом случае диапазон их плотности и толщины может составлять $250...500 \text{ кг/м}^3$ и $25...100 \text{ мм}$ соответственно. Как древесностружечные

цементные панели, так и эксцельсиор-панели получили широкое распространение (акустические потолочные панели в общественных и коммерческих зданиях, облицовка промышленных и складских зданий, брендмауэры, недорогие элементы строений, корпуса, звуковые барьеры и т. п.).

2.6. *Древесно-пластиковые композиты (ДПК)* – это смеси из древесных волокон или диспергированных частиц древесины, заключенных в полимерную матрицу. Они используются в производстве легковых и грузовых автомобилей для изготовления различных деталей кузова (дверные панели, спинки сидений, подголовники, приборные панели, подлокотники, багажники, покрытия для запасных колес, солнцезащитные козырьки и др.), а также внешней обшивки и системы ограждений, дверных и оконных профилей, напольных покрытий, декоративной отделки, жалюзи, жалюзийных дверей и сайдинга, кровельной плитки и др. Производство компонентов для офисной и бытовой мебели является новейшей областью применения ДПК. Их высокая прочность, влагостойкость и не раскалывающаяся поверхность идеально подходят для кормораздатчиков, разбрасывателей удобрений и силосования в сельском хозяйстве.

3. *Клееные строительные изделия.* Клееные материалы включают ламинированные стружечные брусья (ЛСБ), параллельно стружечные брусья (ПСБ), ламинированные шпоновые брусья (ЛШБ), клееные брусья и панели и другие материалы.

3.1. *Ламинированные стружечные брусья (ЛСБ).* Как ЛСБ, так и ПСБ являются составными пиломатериалами, которые могут быть изготовлены из древесины тополя. Разница в том, что в ЛСБ стружки такого же типа, какие используются в ОСП, но длиннее (до 300 мм), а в ПСБ полосы («усы») из шпона являются основными древесными компонентами. Эти брусья замещают брусья из ценной древесины.

3.2. *Параллельно стружечные брусья (ПСБ).* В производстве ПСБ тонкие и длинные полосы из шпона используются в композите. Для ПСБ толстый соединительный профиль создается в непрерывной СВЧ пресс-системе. Можно изготовить заготовки с размерами сечений 280×480 мм и длиной до 20 м, использовать тонкомерную древесину, получаемую на короткоротационных плантациях тополя.

3.3. *Ламинированные шпоновые брусья (ЛШБ).* Это многослойный, спроектированный материал, состоящий из ламинированного шпона, в котором детали расположены параллельны друг другу по всей длине готового изделия. Листы шпона скреплены вместе водонепроницаемым структурным клеем. Основными конкурентными преимуществами ЛШБ являются их однородность, стабильность размеров и высокая прогнозируемых прочностных свойств. Различают структурные и неструктурные ЛШБ. Первые должны быть изготовлены с водостойким клеем, применяются в покрытиях как жилых, так и нежилых зданий в качестве опорных балок, ферм, стропил, обрешетки и др., вторые могут быть использованы в оконных и дверных рамах, при изготовлении лестниц, мебели и др.

3.4. *Интегрированные лаги (I-joists, И-лаги).* Это группа инженерно спроектированных древесных продуктов, внутренность которых составлена из структурных панелей, например ОСП (OSB) или фанеры, скрепленных двумя фланцами из сплошного бруса или ЛШБ. И-лаги используют в жилищном и коммерческом строительстве в качестве половых лаг, междуэтажных перекрытий, при изготовлении крыш и т. п.

4. *Целлюлоза и бумага.* Древесина тополя пригодна для всех методов производства целлюлозы, которые используются в настоящее время: механический (древесная масса), полухимический и химический (сульфатный – щелочной, сульфитный – кислотный). Выход продукта при механическом процессе составляет 90...96 %, при термомеханическом – 90...94 %, при химико-термомеханическом – 85...90 %, при химическом – 43...50 % [34]. В исследованных в Астрахани 9-летних тополях содержание целлюлозы колебалось от 40 до 56 %, выход полуфабриката – от 54 до 70 %, сопротивление излому (число двойных перегибов) – от 1377 до 2615 Н, раздиранию – от 0,392 до 0,627 Н [27].

Выход целлюлозы из древесины 40-летних тополей составлял от 57,0 до 63,5 %, из осины – от 55,3 до 55,8 % [30]. Основные области применения тополевой целлюлозы: производство специальных бумажных изделий (салфеток, полотенец, абсорбентных тканей и некоторых сортов бумаги); в смеси с хвойной целлюлозой для получения полиграфической бумаги; изготовление картона для упаковки, изоляционных материалов, потолочной плитки, рубероида и др.

5. *Энергия биомассы.* Возможность использования тополевой биомассы для получения биоэнергии испытывается с последней четверти XX в. [25, 28, 31, 34, 38, 40, 41, 44, 46, 51, 53–55]. Во многих странах получены практические результаты. Для этого применяются как отходы древесины при лесозаготовках и деревообработке, так и продукция из специально создаваемых короткоротационных плантаций.

Для преобразования биомассы в энергию существует три основных направления: тепловой; биологический или биохимический; физический [34]. При тепловых и термохимических процессах осуществляются прямое сжигание (тепло как конечный продукт), газификация и пиролиз. Биологические методы предполагают использование ферментов и бактерий для разложения и превращения биомассы в жидкость (этанол) и газы с помощью анаэробного брожения (метан – CH_4). Физические или физико-химические методы использует гидролиз (нагрев и давление), чтобы превратить сахара и лигнин биомассы в ароматические углеводороды, которые могут быть дополнительно переработаны в конечную продукцию, например этанол.

Заключение

Тополовая древесина находит широкое применение в различных отраслях промышленности и в домашнем обиходе.

Использование мягколиственных пород позволяет в различных странах мира, с одной стороны, восполнять дефицит имеющихся лесных древесных ресурсов, а с другой – развивать направление замещения дорогих материалов более дешевыми.

Следует отметить, что применение древесины тополя не только позволяет экономить качественную древесину, но и предполагает создание высокотехнологичных производственных процессов и получение новых материалов.

Однако, несмотря на проведенные многочисленные исследования и опыт использования древесины осины и других тополей, быстрый рост этих древесных пород и возможность их применения при производстве многочисленных продуктов, именно в нашей стране этот ресурс явно недооценен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альбенский А.В.* Культура тополей. М.: Гос. лесотехн. изд-во, 1946. 45 с.
2. *Арнольд Ф.К.* Русский лес. Т. II, ч. I. СПб.: Изд. А.Ф. Маркса, 1898. 705 с.
3. *Бакулин В.Т.* Триплоидный клон осины в лесах Новосибирской области // Генетика. 1966. № 11. С. 58–68.
4. *Бессчетнов П.П.* Тополь (культура и селекция). Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. 152 с.
5. *Богданов П.Л.* Тополя и их культура. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 104 с.
6. *Владимиров Б.Н.* Гибридизация осины // Науч. тр. МЛТИ. 1972. Вып. 43. С. 49–57.
7. Государственный лесной реестр 2013: стат. сб. М.: Рослесинформ, 2014. 690 с.
8. *Иванников С.П.* Селекция осины в лесостепи на быстроту роста, устойчивость против гнили и качество древесины // Опыт и достижения селекции лесных пород: тр. ВНИИЛМ. 1959. Вып. 38. С. 63–124.
9. *Иванников С.П.* Тополь. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 85 с.
10. *Куницыкий Б.А.* О разновидностях осины // Лесн. журн. 1888. № 3. С. 328–334.
11. Лесной фонд РСФСР: стат. сб. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1958. 92 с.
12. Лесной фонд РСФСР (по материалам учета лесного фонда на 1 янв. 1961 г.): стат. сб. М.: Гослесбумиздат, 1962. 628 с.
13. Лесной фонд России (по учету на 1 янв. 1993 г.): справ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 280 с.
14. Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 янв. 2003 г.): справ. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.
15. *Мелехов И.С.* Пути воспроизводства лесосырьевых ресурсов для целлюлозно-бумажной промышленности // Актуальные вопросы исследования лесов Сибири: тез. докл. Всесоюз. конф., Красноярск, 28–30 сент. 1981 г. Красноярск: Ин-т леса и древесины, 1981. С. 104–106.
16. *Михайлов Л.Е.* Осина. М.: Агропромиздат, 1985. 72 с.
17. *Нестеров Н.С.* О пользе осины в нашем лесном хозяйстве // Лесн. журн. 1887. № 6. С. 677–687.
18. Об утверждении лесоустроительной инструкции: приказ Рослесхоза № 516 от 12.12.2011 г.: с измен. от 11.11.2014 г. М., 2012. 35 с.
19. Распределение площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста на 01.01.2011 г. М.: Федер. агентство лесн. хоз-ва, 2011.
20. *Смилга Я.Я.* Осина. Рига: Зинатне, 1986. 239 с.
21. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение: учеб. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
22. *Фокель Ф.Г.* Собрание лесной науки / подгот. [вступ. ст.] Г.И. Редько; СПб ЛТА. 2-е изд. СПб.; Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1996. Ч. I. 207 с.
23. *Царев А.П.* Селекция осины в Воронежской области // Лесная генетика, селекция и семеноводство: [сб. по материалам совещания, состоявшегося 12–15 дек. 1967 г. в г. Петрозаводске]. Петрозаводск: Карелия, 1970. С. 346–352.
24. *Царев А.П.* Сортоведение тополя: моногр. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1985. 152 с.
25. *Царев А.П.* Древесина – как источник получения биоэнергии // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2015. С. 100–103.
26. *Царев А.П., Лаур Н.В.* Динамика породного состава лесного фонда РФ // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 65-летию высшего лесного образования в Республике Карелия, 24 мая 2016 г. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. С. 276–279.
27. *Царев А.П., Хэ А.Ф., Царева Р.П.* Технические показатели древесины и бумажного полуфабриката некоторых сортов тополей, выращенных в орошаемых условиях полупустыни // Современные проблемы древесиноведения: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., 22–24 сент. 1981. Воронеж: ВЛТИ, 1981. С. 177–180.

28. Царев А.П., Царев В.А. Биомасса тополей подрода *Europulus* Dode для производства биоэнергии // Лесн. вестн.–Вестн. МГУЛ. 2015. Т. 19, № 6. С. 57–62.

29. Царева Р.П. Селекция осины // Царев А.П., Погиба С.П., Лаур Н.В. Селекция лесных и декоративных древесных растений: учеб. / под ред. А.П. Царева. М.: МГУЛ, 2014. С. 350–363.

30. Царева Р.П., Евлаков П.М., Царев А.П., Вариводина И.Н., Царев В.А. Результаты опытной варки древесины перспективных для ЦЧР форм тополей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 5, ч. 3. С. 75–79.

31. Шегельман И.Р., Шукин П.О., Морозов М.А. Место биоэнергетики в топливно-энергетическом балансе лесопромышленного региона // Наука и бизнес: пути развития. 2011. № 6. С. 151–154.

32. Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины. М.: Гослесбуиздат, 1963. 442 с.

33. Якимов И.В., Казанцев И.Я., Шаталов В.Г. Физико-механические свойства древесины сортовых тополей в пойменных условиях Нижней Волги и Северного Кавказа // Современные проблемы лесосиноведения: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., 22–24 сент. 1981. Воронеж: ВЛТИ, 1981. С. 288–291.

34. Balatinecz J., Mertens P., De Boever L., Yukun H., Jin J., Acker J.V. Properties, Processing and Utilization // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / ed. by J.S. Isebrands, J. Richardson. London: FAO, 2014. Pp. 527–561.

35. Breeding Programmes in Sweden. Arbetsrapport. Uppsala: Scog Forsk, 1995. No. 302. 25 p.

36. Carle J., Holmgren P. Wood from Planted Forests: A Global Outlook 2005–2030 // Journal Forest Products. 2008. Vol. 58, no.12. Pp. 6–18.

37. Del Lungo A., Ball J., Carle J. Global Planted Forests Thematic Study. Results and Analysis // Planted Forests and Trees Working Papers. Working Paper 38. Rome: FAO, 2006. 168 p.

38. Hoffmann M. Pappeln als nachwachsender Rohstoff auf Ackerstandorten – Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl. Hann. Münden, Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten. 2005. Band 8. 145 S.

39. Houtzagers G. Het Geslacht *Populus* Verband met zijn Beteekenis voor de Houtteelt [The Genus *Populus* and its Significance in Silviculture]. Vageningen: H. Veenman & Zonen, 1937. 266 S.

40. Isebrands J.G., Karnosky F. Environmental Benefits of Poplar Culture // Poplar Culture in North America / ed. by D.I. Dickmann, J.G. Isebrand, J.E. Eckenwalder, J. Richardson. Ottawa: NRC Research Press, 2001. Pp. 207–218.

41. Kollert W., Carle J., Rosengren L. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / ed. by J.G. Isebrands, J. Richardson. Rome: FAO, 2014. Pp. 577–602.

42. Meyer M. Trockenheistreaktion und Holzanatomische Eigenschaften der Zitterpappel (*Populus tremula* L.) – Physiologie und QTL-Mapping: Disertation zur Erlangung des akademischen Grades Doctor rerum silvarum. Dresden, den 02. Juni 2010. 147 S.

43. Sinclair F.L. Agroforestry // Encyclopedia of Forest Sciences. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Ltd., 2004. Pp. 27–32.

44. Stanton B.J., Serapiglia M.J., Smart L.B. The Domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic Resources // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / ed. by J.G. Isebrands, J. Richardson. Rome: FAO, 2014. Pp. 124–199.

45. Stout A.B., McKee R., Schreiner E.J. The Breeding of Forest Trees for Pulp Wood // Journal of the New York Botanical Garden. 1927. Vol. 28, no. 327. Pp. 49–63.

46. Tsarev A.P. Natural Poplar and Willow Ecosystems on a Grand Scale: the Russian Federation // Unasylya. 2005. Vol. 56, iss. 221, no. 2. Pp. 10–11.

47. Tsarev A.P. Growth and Breeding of Aspen in Russia // *Silvae Genetica*. 2013. Vol. 62, iss. 1–6. Pp. 153–160.

48. Tsarev A.P. Resource Potential of Aspen in Russia // The Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies. International Poplar Commission – 25th Session. Berlin, Germany, September 13–16, 2016. Abstracts of Submitted Papers and Posters. Forestry Policy and Resources Division Forestry Department. Working Paper IPC/14. Rome: FAO, 2016. 174 p.

49. Tsarev A., Wühlisch G., Tsareva R. Hybridization of Poplars in the Central Chernozem Region of Russia // *Silvae Genetica*. 2016. Vol. 65, iss. 2. Pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2016-0011>. Режим доступа: <https://content.sciendo.com/downloadpdf/journals/sg/65/2/article-p1.xml> (дата обращения: 27.10.2017).

50. Wood Handbook – Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: USDA Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

51. Wühlisch G von. Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf. Perspektiven für die Energie – und Rohstoffherzeugung // *Vortr. Pflanzenzüchtung*. 2006. Band 70. S. 157–172.

52. Wuehlish G von. Growth Performance of F1-Hybrids, Backcrossed Hybrids and F2-Hybrids of *Populus tremula* and *Populus tremuloides* // *Poplars and Willows: from Research Models to Multipurpose Trees for a Bio-Based Society*. Fifth Intern. Poplar Symp. Orvieto, Italy, September 20–25, 2010. 37 p.

53. Wuehlish G. Status of Short-Rotation Coppices (SRC) with Poplar and Willow in Germany. Improving Lives with Poplars and Willows. International poplar Commission. 24th Session. Dehradun, India, October 30 – November 2, 2012. Abstracts of Submitted Papers. Working Paper IPC/11. Rome: FAO, 2012. 112 p.

54. Ylitalo E., Mustonen M. Consumption of Renewable Energy and Wood Fuels in the European Union // *Forest Bioenergy for Europe*. 2014. No. 4. Pp. 17–22.

55. Zuffa L., Giordano E., Pryor L.D., Stettler R.F. Trends in Poplar Culture: Some Global and Regional Perspectives // *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation* / ed. by R.F. Stettler, Jr. H.D. Bradshaw, P.E. Heilman, T.M. Yinckley. Ottawa: NRC Research Press, 1996. Pp. 515–539.

Поступила 15.03.18

UDC 691.113+630*165

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48

The Diversity of Use of Poplar Wood

A.P. Tsarev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, ul. Lomonosova, 105, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: antsa-55@yandex.ru

There is a trend to increase the area of aspen plantations in Russia. According to official data there are about 24–25 mln hectares with stockpiles about 3715 mln m³. There are also plantations of other poplar species. It is about 962 thousands hectares with 144 mln m³ of stockpiles. However, this valuable resource remains in little demand in our country due to the depletion of healthy aspen forests and undeveloped infrastructure of processing and use of poplar wood. Analysis of the use of poplar wood resources in the past and consideration of the trends of increasing their consumption in current conditions exemplified by local and foreign experience are the main purposes of the present study. The literature search and the authors own observations allowed to conclude that in the past (18th – 20th century) in our country aspen wood was used mostly for domestic purposes. Slowly it had being implemented

For citation: Tsarev A.P. The Diversity of Use of Poplar Wood. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 48–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.48

in industrial production such as: construction; production of wood articles, packaging, matches, plywood, cardboard and paper; chemical processing; charcoal burning, fuel, branch feed, etc. In the second half of the 20th century and in the beginning of the 21st century, the use of aspen and poplar wood has been increased dramatically around the whole world. This is due to the increasing of its use for traditional purposes and creation new materials with the use of new technologies. It is possible to identify the most common options of poplar and aspen wood applications. There are logs and other natural wood materials; composites and panel: veneer and plywood, fibreboard, particleboard, oriented strand board (OSB), wood-cement composites, wood-plastic composites; glued structural products: laminated strand lumber (LSL), parallel strand lumber (PSL), laminated veneer lumber (LVL), integrated joists (I-joists); pulp and paper; the use of biomass energy; etc. A brief characteristic of these materials is given in the paper. It is advisable to use aspen and poplar wood resources more careful and efficient due to the existing experience of new technologies application and huge reserves of these resources in Russia.

Keywords: wood, poplar, aspen, fibreboard, particleboard, oriented strand board, laminated strand lumber, parallel strand lumber, laminated veneer lumber, bioenergy.

REFERENCES

1. Al'benskiy A.V. *Kul'tura topoley* [Poplar Culture]. Moscow, Gos. lesotekhn. izd-vo, 1946. 45 p. (In Russ.)
2. Arnol'd F.K. *Russkiy les* [Russian Forest]. Saint Petersburg, A.F. Marks Publ., 1898, vol. 2, part 1, 705 p. (In Russ.)
3. Bakulin V.T. Triploidnyy klon osiny v lesakh Novosibirskoy oblasti [Triploid Clone of Aspen in the Forests of Novosibirsk Region]. *Genetika* [Russian Journal of Genetics], 1966, no. 11, pp. 56–58.
4. Besschetnov P.P. *Topol' (kul'tura i selektsiya)* [Poplar: Culture and Breeding]. Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1981. 152 p. (In Russ.)
5. Bogdanov P.L. *Topolya i ikh kul'tura* [Poplars and Their Culture]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965. 104 p. (In Russ.)
6. Vladimirov B.N. Gibrizatsiya osiny [Aspen Hybridization]. *Nauch. tr. MLTI* [Academic Papers of the Moscow Forest Technical Institute], 1972, no. 43, pp. 49–57.
7. *Gosudarstvennyy lesnoy reyestr 2013: stat. sb.* [State Forest Register 2013. Statistical Digest]. Moscow, Roslesinform Publ., 2014. 690 p. (In Russ.)
8. Ivannikov S.P. Seleksiya osiny v lesostepi na bystrotu rosta, ustoychivost' protiv gnili i kachestvo drevesiny [Aspen Breeding in Forest-Steppe on Growth Quickness, Steady against Heart Rot and Quality of Wood]. *Opyt i dostizheniya selektsii lesnykh porod: tr. VNIILM* [Experience and Achievements in Forest Tree Breeding. Proceedings of VNIILM], 1959, no. 38, pp. 63–124.
9. Ivannikov S.P. *Topol'* [Poplar]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 85 p. (In Russ.)
10. Kunitskiy B.A. O raznovidnostyakh osiny [Aspen Species]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1888, no. 3, pp. 328–334.
11. *Lesnoy fond RSFSR: stat. sb.* [Forest Fund of the USSR. Statistical Digest]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1958. 92 p. (In Russ.)
12. *Lesnoy fond RSFSR (po materialam ucheta lesnogo fonda na 1 yanv. 1961 g.): stat. sb.* [Forest Fund of the USSR (According to the Materials of Forest Fund Inventory on January 1, 1961). Statistical Digest]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 628 p. (In Russ.)
13. *Lesnoy fond Rossii (po uchetu na 1 yanv. 1993 g.): sprav.* [Forest Fund of the Russian Federation (According to the Inventory on January 1, 1993). Reference Book]. Moscow, VNIITSlesresurs Publ., 1995. 280 p. (In Russ.)
14. *Lesnoy fond Rossii (po dannym gosudarstvennogo ucheta lesnogo fonda po sostoyaniyu na 1 yanv. 2003 g.): sprav.* [Forest Fund of the Russian Federation (According to the State Forest Fund Inventory on January 1, 2003). Reference Book]. Moscow, VNIIL Publ., 2003. 640 p. (In Russ.)

15. Melekhov I.S. Puti vosproizvodstva lesosyr'yevykh resursov dlya tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti [The Directions of Forest Raw Material Resources Reproduction for Pulp and Paper Industry] *Aktual'nyye voprosy issledovaniya lesov Sibiri: tez. dokl. Vsesoyuz. konf., Krasnoyarsk, 28–30 sent. 1981 g.* [Issues of Importance of Siberian Forests Investigation. Scientific Conference Abstracts, Krasnoyarsk, September 27–28, 1981], Krasnoyarsk, 1981, pp. 104–106.

16. Mikhaylov L.E. *Osina* [Aspen]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 72 p. (In Russ.)

17. Nesterov N.S. O pol'ze osiny v nashem lesnom khozyaystve [About Benefits of Aspen in our Forestry]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1887, no. 6, pp. 677–687.

18. *Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii: prikaz Rosleskhoza № 516 ot 12.12.2011 g.* [The Order of the Federal Forestry Agency, December 12, 2011, no. 516 “On the Approval of Forest Management Instructions”]. Moscow, 2012. 35 p.

19. *Raspredeleniye ploshchadi lesov i zapasov drevesiny po preobladayushchim porodam i gruppam vozrasta na 01.01.2011 g.* [Distribution of Forest Area and Wood Resources According to the Dominant Wood Species and Age Groups, January 01, 2011]. Moscow, Feder. agentstvo lesn. khoz-va Publ., 2011.

20. Smilga Ya.Ya. *Osina* [Aspen]. Riga, Zinatne Publ., 1986. 239 p. (In Russ.)

21. Ugolev B.N. *Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye: ucheb.* [Wood Technology and Forest Merchandizing. Textbook]. Moscow, MGUL Publ., 2007. 351 p. (In Russ.)

22. Fokel' F.G. *Sobraniye lesnoy nauki* [Collection of the Forest Science]. Arkhangel'sk, Sev.-Zap. kn. izd-vo, 1996, part 1, 207 p. (In Russ.)

23. Tsarev A.P. Seleksiya osiny v Voronezhskoy oblasti [Aspen Breeding in Voronezh Region]. *Lesnaya genetika, seleksiya i semenovodstvo: sb. po materialam soveshchaniya, sostoyavshegosya 12–15 dek. 1967 g. v g. Petrozavodske* [Forest Genetics, Breeding and Seed Growing. Collection of the Meeting Data, Petrozavodsk, December, 12–15, 1967]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1970, pp. 346–352.

24. Tsarev A.P. *Sortovedeniye topolya* [Poplar Breed Science]. Ed. by A.P. Tsarev, Voronezh, VGU Publ., 1985. 152 p. (In Russ.)

25. Tsarev A.P. Drevesina – kak istochnik polucheniya bioenergii [Wood as a Source of Bioenergy]. *Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* [Improvement of the Effectiveness of Timber Complex. Proceedings of Sci. Pract. Conference with Int. Participation], Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2015, pp. 100–103.

26. Tsarev A.P., Laur N.V. Dinamika porodnogo sostava lesnogo fonda RF [Species Composition Dynamics of the Russian Federation Forest Fund]. *Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vtoroy vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem, posvyashchennoy 65-letiyu vysshego lesnogo obrazovaniya v Respublike Kareliya, 24 maya 2016* [The Increasing of Timber Complex Efficiency. Proceedings of the Second Russian National Sci. Pract. Conf. with Int. Particip., dedicated to 65th Anniversary of the Higher Forestry Education in Karelia Republic, May 24, 2016]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2016, pp. 276–279.

27. Tsarev A.P., Khe A.F., Tsareva R.P. Tekhnicheskiye pokazateli drevesiny i bumazhnogo polufabrikata nekotorykh sortov topoley, vyrashchennykh v oroshayemykh usloviyakh polupustyni [Technical Characteristics of Wood and Paper Semi-Product of Some Poplar Breeds Cultivated in Irrigated Environment of Semidesert]. *Sovremennyye problemy drevesinovedeniya: tez. dokl. Vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf., 22–24 sent. 1981* [Contemporary Issues of Wood Science. Abstracts of All-Union Sci.-Tech. Conf., September 22 – 24, 1981]. Voronezh, VLTi Publ., 1981, pp. 1977–1980.

28. Tsarev A.P., Tsarev V.A. Biomassa topoley podroda *Eupopulus Dode* dlya proizvodstva bioenergii [Biomass of *Eupopulus Dode* Poplars for Bioenergy Production]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2015, vol. 19, no. 6, pp. 56–72.

29. Tsareva R.P. Seleksiya osiny [Breeding of Aspen]. Tsarev A.P., Pogiba S.P., Laur N.V. *Seleksiya lesnykh i dekorativnykh drevesnykh rasteniy: ucheb.* [Breeding of

Forest and Woody Ornamental Plants. Textbook]. Ed. by A.P. Tsarev, Moscow, MGUL Publ., 2014, pp. 350–363.

30. Tsareva R.P., Evlakov P.M., Tsarev A.P., Varivodina I.N., Tsarev V.A. Rezul'taty opytной varki drevesiny perspektivnykh dlya TSCHR form topoley [The Results of Experimental Kraft Pulping of Poplar Breeds with High Potential for Central Chernozem Region]. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [The Latest Trends of Scientific Research in the 21st Century: Theory and Practice]. 2014, no. 5, part 3, pp. 75–79.

31. Shegel'man I.R., Shchukin P.O., Morozov M.A. Mesto bioenergetiki v toplivno-energeticheskom balanse lesopromyshlennogo regiona [Place of Biopower in Fuel and Energy Balance of Forest Industry Region]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and Business: Ways of Development], 2011, no. 6, pp. 151–154.

32. Yablokov A.S. *Vospitaniye i razvedeniye zdorovoy osiny* [Raising and Breeding of Healthy Aspen]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963. 442 p. (In Russ.)

33. Yakimov I.V., Kazantsev I.Ya., Shatalov V.G. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva drevesiny sortovykh topoley v poymennykh usloviyakh Nizhney Volgi i Severnogo Kavkaza [Physical and Mechanical Properties of Cultivar Poplar Wood in Flood Lands of Lower Volga Region and the North Caucasus]. *Sovremennyye problemy drevesinovedeniya: tez. dokl. Vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf., 22–24 sent. 1981* [Contemporary Issues of Wood Science. Abstracts of All-Union Sci.-Tech. Conf., September 22–24, 1981]. Voronezh, VLTi Publ., 1981, pp. 288–291.

34. Balatinecz J., Mertens P., De Boever L., Yukun H., Jin J., Acker J.V. Properties, Processing and Utilization. *Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment*. Ed. by J.S. Isebrands, J. Richardson. London, FAO, 2014, pp. 527–561.

35. *Breeding Programmes in Sweden. Arbetsrapport*. Uppsala, Scog Forsk, 1995, no. 302, 25 p.

36. Carle J., Holmgren P. Wood from Planted Forests: A Global Outlook 2005–2030. *Journal Forest Products*, 2008, vol. 58, no 12, pp. 6–18.

37. Del Lungo A., Ball J., Carle J. Global Planted Forests Thematic Study. Results and Analysis. *Planted Forests and Trees Working Papers. Working Paper 38*. Rome, FAO, 2006. 168 p.

38. Hoffmann M. *Pappeln als nachwachsender Rohstoff auf Ackerstandorten – Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl*. Hann. Münden, Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten. 2005, Band 8, 145 S.

39. Houtzagers, G. *Het Geslacht Populus Verband met zijn Beteekenis voor de Houtteelt* [The Genus *Populus* and Its Significance in Silviculture]. Vageningen, H. Veenman & Zonen, 1937. 266 S.

40. Isebrands J.G., Karnosky F. *Environmental Benefits of Poplar Culture. Poplar Culture in North America*. Ed. by D.I. Dickmann, J.G. Isebrand, J.E. Eckenwalder, J. Richardson, Ottawa, NRC Research Press, 2001, pp. 207–218.

41. Kollert W., Carle J., Rosengren L. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development. *Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment*. Ed. by J.G. Isebrands, J. Richardson, Rome, FAO, 2014, pp. 577–602.

42. Meyer M. Trockenheistreaktion und Holzanatomische Eigenschaften der Zitterpappel (*Populus tremula* L.) – *Physiologie und QTL-Mapping. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doctor rerum silvicularum*. Dresden, den 02. Juni 2010. 147 S.

43. Sinclair F.L. Agroforestry. *Encyclopedia of Forest Sciences*. Amsterdam, Netherlands, Elsevier Ltd., 2004, pp. 27–32.

44. Stanton B.J., Serapiglia M.J., Smart L.B. The Domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic Resources. *Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment*. Ed. by J.G. Isebrands, J. Richardson, Rome, FAO, 2014, pp. 124–199.

45. Stout A.B., McKee R., Schreiner E.J. The Breeding of Forest Trees for Pulp Wood. *Journal of the New York Botanical Garden*. 1927, vol. 28, no. 327, pp. 49–63.

46. Tsarev A.P. Natural Poplar and Willow Ecosystems on a Grand Scale: the Russian Federation. *Unasylva*. 2005, vol. 56, iss. 221, no. 2, pp. 10–11.
47. Tsarev A.P. Growth and Breeding of Aspen in Russia. *Silvae Genetica*, 2013, vol. 62, iss. 1–6, pp. 153–160.
48. Tsarev A.P. Resource Potential of Aspen in Russia. *The Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Resources for Future Green Economies. International Poplar Commission – 25th Session. Berlin, Germany, September 13 – 16, 2016. Abstracts of Submitted Papers and Posters. Forestry Policy and Resources Division Forestry Department. Working Paper IPC/14*. Rome, FAO, 2016. 174 p.
49. Tsarev A., Wühlisch G., Tsareva R. Hybridization of Poplars in the Central Chernozem Region of Russia. *Silvae Genetica*. 2016, vol. 65, iss. 2, pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1515/sg-2016-0011>. Available at: <https://content.sciendo.com/downloadpdf/journals/sg/65/2/article-p1.xml> (accessed 27.10.2017).
50. *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material. General Technical Report FPL-GTR-190*. Madison, WI, USDA Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.
51. Wühlisch G von. Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf. Perspektiven für die Energie – und Rohstoffherzeugung. *Vortr. Pflanzenzüchtung*, 2006, Band 70, S. 157–172.
52. Wuehlish G von. Growth Performance of F1-Hybrids, Backcrossed Hybrids and F2-Hybrids of *Populus tremula* and *Populus tremuloides*. *Poplars and Willows: from Research Models to Multipurpose Trees for a Bio-Based Society. Fifth Intern. Poplar Symp.* Orvieto, Italy, September 20–25, 2010. 37 p.
53. Wuehlish G. Status of Short-Rotation Coppices (SRC) with Poplar and Willow in Germany. *Improving Lives with Poplars and Willows. International poplar Commission. 24th Session. Dehradun, India, October 30 – November 2, 2012. Abstracts of Submitted Papers. Working Paper IPC/11*. Rome, FAO, 2012. 112 p.
54. Ylitalo E., Mustonen M. Consumption of Renewable Energy and Wood Fuels in the European Union. *Forest Bioenergy for Europe*. 2014, no. 4, pp. 17–22.
55. Zsuffa L., Giordano E., Pryor L.D., Stettler R.F. Trends in Poplar Culture: Some Global and Regional Perspectives. *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. Ed. by R.F. Stettler, Jr. H.D. Bradshaw, P.E. Heilman, T.M. Yinckley, Ottawa, NRC Research Press, 1996, pp. 515–539.

Received on March 15, 2018

УДК 630*165.6:630*232.19
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.65

ВОЗРАСТ ОЦЕНКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРЕВЬЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ

А.В. Жигунов¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.С. Бондаренко², канд. с.-х. наук

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;

e-mail: a.zhigunov@bk.ru

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Институтский просп., д. 21, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: asbond@mail.ru

Окончательная оценка генетических качеств плюсовых деревьев в испытательных культурах установлена в 1/2 возраста спелости данного вида лесных растений в конкретной лесорастительной зоне. Это отодвигает реализацию основных селекционных программ в лесном хозяйстве на длительный срок. Цель исследования – на основании сравнения скорости роста семей плюсовых деревьев в испытательных культурах ели европейской установить возраст, после которого ранговое положение семей не изменяется, что может служить обоснованием возраста их окончательной генетической оценки. Исследования выполнены на 6 участках испытательных культур Ленинградской и Псковской областей. Превышение показателей отдельных семей над контролем по высоте составляет для различных участков до 15 %, по диаметру – до 40 %, по объему ствола – до 120 %. Доля семей – кандидатов в элиту при отборе по принципу достоверности отличий от контроля по диаметру и высоте на различных участках испытательных культур изменяется от 9 до 39 % (в среднем 20 %), семей, превосходящих контроль по диаметру на 5 % и более, – от 14 до 56 %. Различия между семьями по значениям основных биометрических показателей достоверны на уровне значимости 0,05. В течение первых 10 лет жизни происходит интенсивная смена рангового положения семей плюсовых деревьев. В дальнейшем ранговое положение семей стабилизируется, что с высокой долей вероятности позволяет сделать вывод о генетической ценности плюсового дерева. Высота по сравнению с диаметром ствола дерева является более стабильным показателем и в большей степени пригодна для выполнения сравнительной оценки продуктивности семей. Коэффициент наследуемости в узком смысле основных биометрических показателей составляет от 0,02 до 0,16. Более высокие значения его получены для самого старшего участка испытательных культур с наиболее высоким качеством проведения уходов и отбора плюсовых деревьев. Достаточно точный прогноз относительной скорости роста семей плюсовых деревьев по высоте возможно выполнять, начиная уже с 20-летнего возраста растений, по диаметру ствола – с возраста 30 лет.

Ключевые слова: испытательные культуры, скорость роста, ранговое положение, семьи плюсовых деревьев, возраст оценки.

Введение

Плюсовая селекция остается одним из основных методов повышения продуктивности искусственных древостоев главных лесообразующих пород.

Для цитирования: Жигунов А.В., Бондаренко А.С. Возраст оценки генетических свойств деревьев ели европейской в испытательных культурах // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 65–81. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.65

На основе отбора лучших генотипов создаются лесосеменные плантации, предназначенные для получения улучшенных семян. При создании лесосеменных плантаций непроверенным по потомству материалом генетический эффект зависит от породы, селективируемого признака, качества и интенсивности селекции и составляет в среднем 0,15–0,25 [6, 23, 26]. Для получения более выраженного селекционного эффекта необходимо проводить генетическую оценку плюсовых деревьев по семенному потомству. Эту задачу выполняют испытательные культуры, представляющие собой созданные по специальным схемам опытные объекты, которые используют для оценки преимуществ в росте семенного потомства тех или иных генотипов [14]. Успешность работ в лесной селекции зависит в первую очередь от уровня наследуемости селективируемых признаков. В связи с различными подходами к оценке наследуемости признаков продуктивности мнения исследователей относительно степени генетической обусловленности скорости роста деревьев хвойных пород в высоту неоднозначны [4, 11–13, 18]. При этом одним из основных проблемных вопросов лесной селекции остаются возраст оценки генетических свойств основных лесобразующих пород и оценка генетической обусловленности процессов роста и дифференциации растений в древостое по скорости роста [1, 10, 15]. В соответствии с Указаниями по лесному семеноводству в Российской Федерации окончательная оценка семенных потомств плюсовых деревьев в испытательных культурах производится в возрасте потомств не менее 1/2 возраста спелости, принятого для данного вида лесных растений в конкретной лесорастительной зоне [20]. Тем не менее, диапазон возрастов, в котором происходит стабилизация рангов высот древесных растений, позволяющая сравнивать их генетическую ценность и, следовательно, предсказывать преобладание в будущем по высоте тех или иных деревьев, достаточно широк: от 5...7 до 80 лет [3, 4, 9, 10, 16, 21, 22, 24]. Таким образом, вопросы оптимизации возрастных параметров оценки генетических свойств основных древесных пород к настоящему времени недостаточно проработаны, что приводит в первую очередь к значительным трудностям при реализации селекционных программ в лесном хозяйстве [20].

Цель исследования – на основании сравнения скоростей роста семей плюсовых деревьев в испытательных культурах ели европейской установить возраст, после которого ранговое положение семей не изменяется или меняется незначительно, что с высокой долей вероятности может служить обоснованием возраста их окончательной генетической оценки.

Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели были выполнены полевые обследования с измерением основных биометрических показателей на 6 участках испытательных культур ели европейской, расположенных в Ленинградской и Псковской областях.

Ленинградская область:

Гатчинское л-во, Таицкое уч. л-во, кв. 12, поле 23 (территория Гатчинской лесосеменной плантации), площадь 1,2 га, 1974 г. закл., возраст на момент обследования 39 лет, испытывается 48 семей плюсовых деревьев (далее Таицкое-12);

Гатчинское л-во, Таицкое уч. л-во, кв. 13, поле 38 (территория Гатчинской лесосеменной плантации), площадь 2,5 га, 1982 г. закл., возраст 30 лет, испытывается 24 семьи плюсовых деревьев (далее Таицкое-13);

Гатчинское л-во, Орлинское уч. л-во, кв. 4, вв. 10, 11, площадь 2,4 га, 1993 г. закл., возраст 23 года, испытывается 35 семей плюсовых деревьев (далее Орлинское-4);

Гатчинское л-во, Орлинское уч. л-во, кв. 48, вв. 21, 25, площадь 3,0 га, 1968 г. закл., возраст 43 года, испытывается 17 семей плюсовых деревьев (далее Орлинское-48);

Ломоносовское л-во, Гостилицкое уч. л-во, кв. 161, в. 19, площадь 4,2 га, 1976 г. закл., возраст 36 лет, испытывается 90 семей плюсовых деревьев (далее Гостилицкое-161);

Псковская область:

Порховское л-во, Павское уч. л-во, кв. 119, участок № 2, площадь 3,7 га, 1983 г. закл., возраст 29 лет, испытывается 80 семей плюсовых деревьев (далее Порховское-119).

На перечисленных участках испытательных культур применена наиболее распространенная на Северо-Западе России схема смешения испытательных культур – отрезками рядов. Каждая семья представлена в нескольких повторностях на площади участка отрезками рядов различной длины. При этом количество повторностей для одной семьи, как правило, варьирует как в рамках одного участка, так и на различных участках испытательных культур. На участке Таицкое-13 применена редко используемая в России схема смешения семей, в которой каждая семья представлена на площади отрезками по три дерева, равномерно распределенными по площади участка (малодеревные деланки), что представляет особый интерес для исследований по сравнительному изучению скорости роста семей плюсовых деревьев.

В связи с тем, что на большинстве участков испытательных культур контроль отсутствует (из числа изучаемых объектов контроль есть на трех участках: Орлинское-4, Орлинское-48 и Порховское-119), при оценке скорости роста семей плюсовых деревьев применялось сравнение со средними показателями насаждения. В частности, использовалось сравнение различных семей по среднему значению основных биометрических показателей с соответствующими значениями семьи, характеризующейся наибольшей близостью значений биометрического показателя к среднему для всего участка. Такая семья выступает в качестве контроля для сравнительной оценки роста различных семей.

В качестве показателя доли генетической составляющей в общей фенотипической изменчивости признаков (уровень генетического разнообразия) применяется коэффициент наследуемости в узком смысле, рассчитываемый как доля аддитивных компонентов генетической дисперсии признака в общей фенотипической изменчивости. В данном исследовании наследуемости в широком и узком смыслах определяются по стандартным методикам [5, 9] на основе расчета соответствующих компонентов дисперсии исследуемых признаков.

Генотипическая дисперсия количественного признака определяется как межгрупповая дисперсия для набора средних семейных значений набора семей участка испытательных культур. Паратипическая дисперсия признака, обусловленная влиянием факторов окружающей среды, рассчитывается как средняя внутригрупповая дисперсия в рамках семей. В свою очередь, общая

фенотипическая дисперсия является мерой общей изменчивости признака и представляет собой сумму генотипической и паратипической дисперсий. Отношение генотипической дисперсии к общей фенотипической – коэффициент наследуемости в узком смысле, который служит мерой генетического разнообразия выбранного набора семей.

Расчет коэффициентов наследуемости выполняется по показателям варьирования, полученным на основе использования однофакторного дисперсионного анализа. Расчет производится по следующей формуле:

$$h^2 = \sigma_f^2 / \sigma_{ph}^2,$$

где h^2 – коэффициент наследуемости в узком смысле;

σ_f^2 – межгрупповая (между семьями) дисперсия признака;

σ_{ph}^2 – общая (фенотипическая) дисперсия признака.

Межгрупповая дисперсия σ_f^2 рассчитывается по данным средних квадратов и соответствующих им количеств степеней свободы для изучаемого фактора (семейственная принадлежность) и случайного варьирования.

Исследования в испытательных культурах проведены по единой методике. На каждом из полей испытательных культур производился подеревный учет с измерением основных биометрических показателей: высота дерева с точностью до 10 см; таксационный диаметр на высоте груди (1,3 м) с точностью до 0,1 см. Выполнены идентификация семейственной принадлежности растений в соответствии со схемой смещения, а также подеревный учет сохранности посадок.

Высоты деревьев ели европейской в испытательных культурах со средней высотой более 5 м при наличии подлеска и в стесненных условиях измеряли при помощи ультразвукового высотомера Haglof Vertex IV с точностью до ± 10 см. При отсутствии помех в виде подлеска и при невысокой густоте культур (обычно в культурах старшего возраста, 25 лет и более) предпочтительным инструментом в силу большей производительности являлся лазерный высотомер-дальномер типа Vertex Laser VL402.

В испытательных культурах младшего возраста (до 30 лет) в целях получения максимальной информации осуществлялось сплошное измерение высот растений. При возрасте культур свыше 30 лет сплошное измерение высот очень часто затруднительно из-за ограниченной видимости крон деревьев и невозможности визуального определения высоты всех представленных на участке деревьев. В этом случае производился замер не менее 5 растений каждого варианта и на основе данных сплошных замеров диаметра ствола растений (измеряются у растений разных ступеней толщины) и выборочных данных о высотах выполнялось вычисление соответствующего регрессионного уравнения зависимости высоты дерева от диаметра ствола. По данным о диаметре ствола дерева на основе интерполяции определялись соответствующие значения высоты.

Результаты исследования и их обсуждение

Средняя сохранность растений испытательных культур ели европейской на обследованных участках сильно различается и составляет от 16 % (Таицкое-12) до 79 % (Порховское-119). Средний уровень сохранности растений зависит, прежде всего, от качества проведения мероприятий по уходу за участком. При этом сохранность растений в рамках отдельных семей также варьирует в зависимости от участка. Например, на участке испытательных культур

Орлинское-48 при общей сохранности растений 69 % средняя сохранность в рамках отдельных семей варьирует от 48 до 88 %, а на участке Гостилицкое-161 при сопоставимой средней общей сохранности по участку (42 %) средняя сохранность растений в рамках отдельных семей варьирует гораздо сильнее – от 14 до 100 %. В то же время на двух участках, расположенных в Гатчинском лесничестве Ленинградской области, практически одинаковы как общая средняя сохранность растений (68 % на участке Орлинское-4 и 69 % на участке Орлинское-48), так и диапазон варьирования сохранности по семьям: от 44 до 87 % на участке Орлинское-4 и от 48 до 88 % на участке Орлинское-48. При этом более чем двукратная разница в возрасте между этими участками на момент обследования (Орлинское-4 – 19 лет, Орлинское-48 – 43 года) практически не сказывается на средней сохранности растений. Можно предположить, что близкие значения сохранности растений в данном случае обусловлены как воздействием сходных природно-климатических и ценологических факторов, так и в значительной степени сходным набором используемых семей.

В целом превышение отдельных семей по скорости роста в высоту над контролем составляет для различных участков до 15 %, по диаметру – до 40 %, по объему ствола – до 120 %. При этом доля семей – кандидатов в элиту при отборе по принципу достоверности отличий от контроля по диаметру и высоте по различным участкам испытательных культур изменяется от 9 до 39 % (в среднем 20 %). Таким образом, скорость роста семенного потомства значительного числа плюсовых деревьев превышает скорость роста контрольных вариантов. В качестве примера можно привести средние значения биометрических показателей для части семей участка испытательных культур ели европейской Порховское-119, относящихся к разным группам по скорости роста: быстрорастущие, средние и медленнорастущие (табл. 1).

В соответствии с полученными результатами средняя сохранность деревьев на участке Порховское-119 составляла 79 %, при этом различия между исследуемыми семьями по данному показателю сравнительно небольшие (72...86 %), что свидетельствует о сопоставимом уровне устойчивости изучаемых семей к неблагоприятным факторам среды. Таким образом, повреждаемость неблагоприятными факторами среды не является определяющей при отборе перспективных семей в данном опыте. Контроль демонстрирует среднюю сохранность растений (79 %). Сопоставление средних значений биометрических показателей семей при помощи дисперсионного анализа показало, что семьи достоверно (на уровне значимости 0,05) различаются по значениям всех включенных в анализ биометрических показателей. Сравнение средних значений диаметра семей этого участка со средним значением данного показателя в контроле выполнено по парному t-критерию Стьюдента для независимых выборок. В результате установлено, что из 77 семей участка достоверным отличием от контроля по данному показателю характеризуются 15, из которых 3 семьи отличаются в меньшую сторону, 12 семей – в большую. Следовательно, кандидатов в элиту целесообразно отбирать в первую очередь из последних 12, составляющих 16 % от общего количества семей. Превышение этих лучших семей над контролем по диаметру составляет 13...21 %, по высоте – 12...18 %. Если выявлять лучшие семьи не по принципу достоверности отличия от контроля, а по пороговому значению превышения среднего значения признака семьи над контрольным вариантом, то количество лучших семей может быть несколько иным.

Таблица 1

Группа семей	Номер семьи	Количество деревьев, шт.	Среднее значение биометрического показателя								Сохранность, %
			Диаметр		Высота		Объем ствола		%		
			см	% от контроля	м	% от контроля	м ³ (× 10 ³)	% от контроля			
Быстрорастущие	42Гд	174	12,7 ± 0,44	121	13,3 ± 0,27	118	97 ± 8,3	141	79		
	14Гд	79	12,3 ± 0,47	117	13,1 ± 0,38	116	79 ± 7,6	114	77		
	10Ст	46	11,9 ± 0,69	113	13,1 ± 0,45	116	72 ± 10,4	104	78		
	2Стр	83	11,8 ± 0,47	112	12,9 ± 0,36	114	73 ± 7,40	106	82		
	26Гд	197	12,3 ± 0,35	117	12,9 ± 0,26	114	85 ± 7,1	123	85		
	11Гд	173	11,6 ± 0,47	110	11,8 ± 0,37	104	85 ± 8,0	124	77		
Средние	28Пр	197	10,8 ± 0,38	103	11,8 ± 0,30	104	67 ± 6,0	97	86		
	12Гд	190	10,9 ± 0,41	104	11,7 ± 0,33	104	69 ± 5,8	99	82		
	20Гд	169	11,0 ± 0,37	105	11,6 ± 0,37	103	66 ± 5,5	95	73		
	15Пр	160	10,5 ± 0,43	100	11,6 ± 0,34	103	73 ± 8,3	106	79		
	40Гд	121	10,5 ± 0,43	100	11,5 ± 0,40	102	66 ± 6,3	96	81		
	Контроль	236	10,5 ± 0,38	100	11,3 ± 0,31	100	69 ± 6,0	100	79		
Медленнорастущие	30Гд	103	9,9 ± 0,58	94	10,6 ± 0,52	94	68 ± 9,0	98	76		
	18Пр	71	9,4 ± 0,59	90	10,6 ± 0,54	94	41 ± 5,2	59	82		
	41Гд	116	9,6 ± 0,49	91	10,4 ± 0,46	92	51 ± 6,3	74	84		
	16Пр	152	9,1 ± 0,50	87	10,1 ± 0,43	89	68 ± 8,4	99	80		
	2Пр	98	8,4 ± 0,41	80	9,7 ± 0,46	86	41 ± 5,1	59	83		
3Гд	50	8,6 ± 0,83	82	9,7 ± 0,69	86	58 ± 13,9	84	72			
Среднее по участку		9835	10,9 ± 0,05	104	11,7 ± 0,05	104	72 ± 0,9	104	79		

Например, на данном участке (Порховское-119) лучших семей, превосходящих контроль на 5 % и более по диаметру ствола, насчитывается 29 шт., или около 37 % от общего количества.

Аналогичные исследования, проведенные для участка испытательных культур Орлинское-48, показали, что средняя сохранность деревьев на нем – 69 %, при этом изменчивость между семьями по данному показателю также невелика – от 49 до 79 %. Отличием от предыдущего участка является сохранность контрольного варианта, которая является максимальной из всех представленных на участке семей (79 %). Результаты сравнения средних значений диаметра семей данного участка испытательных культур со средним значением контроля с помощью дисперсионного анализа показывают, что из 18 семей, включенных в анализ, 8 имеют достоверное отличие от контроля, из них 1 семья (№ 2-26) отличается от контроля в меньшую сторону, 7 – в большую (№ 12-26, 7-83, 35-54, 20-54, 29-54, 3-26, 47-54). Таким образом, в возрасте растений, соответствующем окончательному отбору элитных семей [19], к элите можно отнести более 40 % семей, что существенно отличается от данных других исследователей, полученных на основе хода роста растений в возрасте до 20 лет, в соответствии с которыми доля лучших семей (кандидатов в элиту) составляет всего 6 % [2]. Очевидно, что относительное количество элитных семей в значительной степени зависит от качества отбора плюсовых деревьев и контрольных вариантов. При определении количества семей, на 5 % превосходящих контроль (без учета уровня достоверности различий) по диаметру, получены данные о том, что таких семей насчитывается 10 шт., или 56 % от общего количества. При выполнении подобного анализа по высоте имеется ожидаемо меньший разброс значений: количество семей, на 5 % превосходящих контроль, – 5 шт., или 28 % от общего количества. В отличие от линейных показателей (высота и диаметр) для объема ствола целесообразно использовать большее значение порогового превышения над контролем в силу гораздо большей его вариабельности. Так, если использовать превышение, равное 10 %, то количество семей, имеющих показатели выше контрольных (без учета уровня достоверности отличия), составляет 50 % от общего. Очевидно, относительное количество элитных семей в значительной степени зависит от качества отбора плюсовых деревьев и контрольных вариантов.

В соответствии с Указаниями по лесному семеноводству в Российской Федерации [19] критерием отбора элитных семей плюсовых деревьев является достоверное превышение их показателей по селективируемым признакам и свойствам над контролем. Результаты сравнительного анализа скорости роста семей плюсовых деревьев для участка Гостилицкое-161 показали, что из 87 семей достоверное отличие от контроля (в качестве контроля принята семья со средними значениями биометрических параметров участка) имеют 12, из которых 4 семьи отличаются от контроля в меньшую сторону, 8 – в большую. В быстрорастущих семьях превышение над контролем по диаметру составляет 7...19 %, т. е. все семьи более чем на 5 % превосходят показатели контроля. Превышение этих 8 семей над контролем по высоте не столь существенно: от 3 до 7 %. Таким образом, количество семей, достоверно превосходящих контроль, составляет около 10 %. Если для отбора лучших семей используется простое превышение по абсолютному значению селективируемого признака над контролем в соответствии с Основными положениями методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесообразующих пород [14],

то семей, превосходящих контроль на 5 %, насчитывается 18, или около 20 % от общего количества. Следует отметить, что при использовании нормального контроля, заложенного с применением средних (типичных для данного региона) семян, соотношение может быть несколько иным. В целом по изученным участкам испытательных культур количество семей, достоверно превосходящих контроль (либо семью со средними параметрами для участка – контроль), составляет от 9 % (участки Таицкое-13 и Гостилицкое-161) до 39 % (участок Орлинское-48). При использовании абсолютных значений превышения над контролем семей, превосходящих контроль по диаметру на 5 % и более, насчитывается от 14 % (Таицкое-13) до 56 % (Орлинское-48).

В целях определения стабильности проявления наследственных свойств плюсовых деревьев по скорости роста в семенном потомстве в первую очередь выполнен анализ ранговых перемещений средних семейственных значений диаметра ствола деревьев на самом старшем из изученных участков (Орлинское-48) по данным измерения диаметров в разном возрасте (рис. 1). Для сопоставимости результатов в анализ не включены семьи, для которых по каким-либо причинам измерения имеются не за все годы наблюдений.

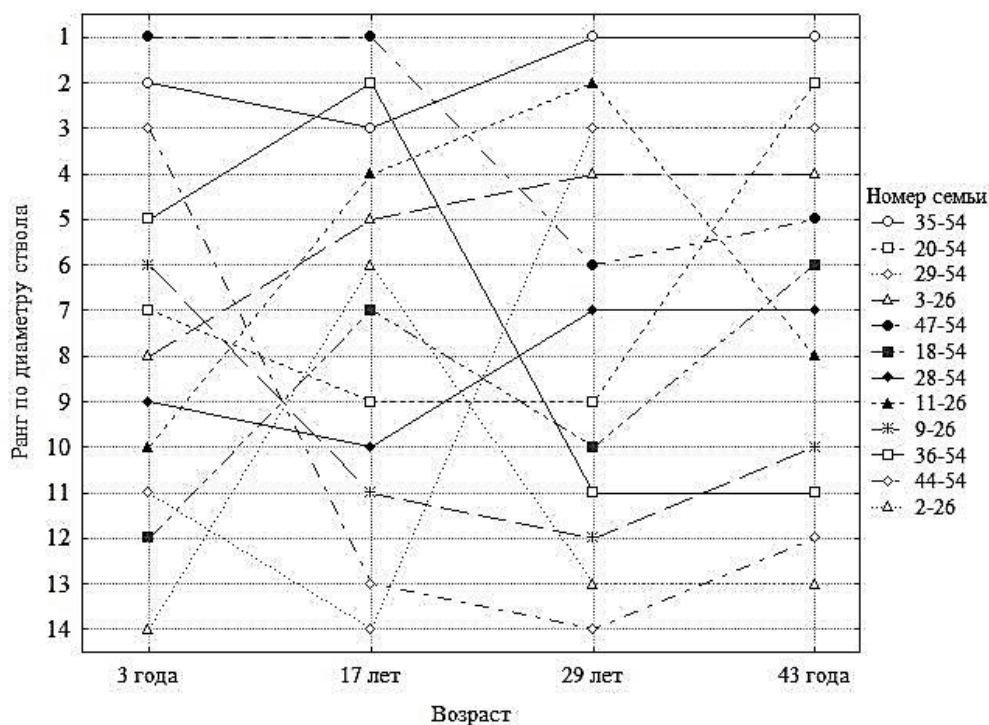


Рис. 1. Динамика рангов семей плюсовых деревьев ели европейской по диаметру ствола на участке испытательных культур Орлинское-48

Fig. 1. Dynamics of ranks of plus tree families by the trunk diameter in the area of progeny testing, Orlinkoye-48

В соответствии с полученными данными до 29-летнего возраста наблюдается значительное изменение рангового положения по диаметру ствола практически для всех семей плюсовых деревьев, для которых выполнен анализ ранговых перемещений. В последующий период (с 29 до 43 лет) ранговое

положение большинства семей стабилизируется, существенное его изменение отмечено у некоторых из них, в частности у семей № 20-54 (повышение ранга) и № 11-26 (понижение ранга). Некоторые семьи характеризуются выраженной стабильностью рангового положения, в частности семья № 35-54, занимающая на протяжении всего периода наблюдений высшие ранги. Изучение динамики ранговых перемещений на данном участке показало, что в возрастном периоде от 18 до 49 лет (т. е. за 31 год) из 7 лучших семей плюсовых деревьев в начальный период времени сохранили свой статус 5 семей, т. е. более 70 %. На основании выполненных исследований ряд семей, показывающих высокие ранги, в совокупности семей рекомендуется выделить в качестве элитных и использовать соответствующие клоны плюсовых деревьев при закладке лесосеменных плантаций второго порядка.

Для выявления более точного возрастного периода стабилизации рангового положения семей плюсовых деревьев по значениям основных биометрических показателей использовались данные о ходе роста семей на участке Орлинское-4, для которого имеются ежегодные измерения основных биометрических показателей в первые годы жизни насаждения. Полученные изменения редуцированных чисел по высоте растений для части семей плюсовых деревьев показывают, что наиболее интенсивная смена рангового положения семей наблюдается в возрасте 6–7 лет (рис. 2). В дальнейшем ранговое положение семей на площади участка более стабильно: существенным образом меняют свои ранги только некоторые из семей, например семья № 455, которая в возрасте 6 лет характеризуется редуцированным числом 1,10, а к возрасту 11 лет снижает значение редуцированного числа до 0,76. Необходимо отметить, что основная масса семей после возраста растений 7–8 лет на данном участке стабилизирует свое положение в древостое по среднему значению высоты.

Для оценки уровня стабильности рангового положения семей относительно друг друга в возрастном градиенте вычисляли ранговые коэффициенты корреляции Спирмена между средними значениями высот и диаметров растений по семьям плюсовых деревьев. В соответствии с полученными данными по участку Орлинское-48 значения коэффициентов корреляции между средними диаметрами ствола семей в возрасте 3 года, 17 и 29 лет недостоверны и составляют 0,13–0,35. Корреляция между среднесемейными значениями диаметров растений в возрасте 29 лет и 43 года становится достоверной: 0,74. Следовательно, коэффициенты корреляции подтверждают стабилизацию значений диаметра в более позднем возрасте.

Такой биометрический показатель, как высота растений, демонстрирует сходную динамику. Согласно полученным данным по участку Орлинское-4 до 8-летнего возраста растений корреляция между их высотами в разный период времени низка и недостоверна, что свидетельствует об интенсивных сменах рангового положения семей относительно друг друга. В дальнейшем значения корреляции между высотами растений существенно увеличиваются и становятся достоверными. Так, корреляция между высотами растений в 3-летний промежуток возрастов (от 4 до 7 лет) составляет всего 0,12 (недостоверна), в то время как в 12-летнем промежутке возрастов (от 11 до 23 лет) – 0,90, она достоверна на уровне значимости 0,05.

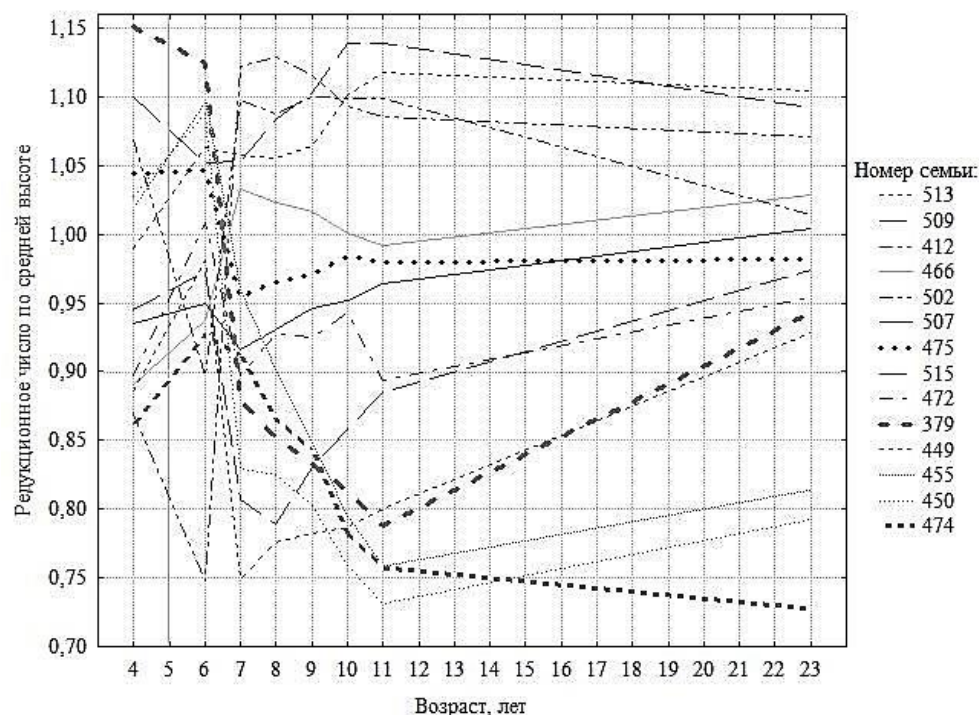


Рис. 2. Динамика редукционных чисел по высоте отдельных семей плюсовых деревьев ели европейской на участке испытательных культур Орлинское-4

Fig. 2. Dynamics of height reduction numbers of individual plus tree families of Norway spruce in the area of progeny testing, Orlinskoye-4

Изучение динамики ранговых перемещений семей с помощью среднего значения редукционного числа по высоте (участок Орлинское-4) показало, что из 11 быстрорастущих семей, имеющих в 8 лет редукционное число 1,0 и выше, к возрасту 23 года (т. е. за 15-летний промежуток времени) сохранили свой статус 10 шт., что составило свыше 90 %. В период с 11 до 23 лет все быстрорастущие семьи сохранили свой статус лидеров (т. е. 100 %). В то же время в период от 6 до 8 лет (т. е. всего за 2 года!) статус быстрорастущих (редукционное число 1,0 и более) из 10 семей сохранили только 5 (т. е. всего 50 %!). Таким образом, в течение первых 10 лет жизни происходит очень интенсивная смена рангового положения семей плюсовых деревьев по высоте, и оценка скорости роста в этом возрасте нецелесообразна. В дальнейшем ранговое положение семей по высоте стабилизируется, что позволяет прогнозировать их продуктивность.

В целом средняя высота дерева отдельных семей является более стабильным показателем их положения в общей совокупности семей, представленных на участке, чем диаметр ствола дерева. Например, ранговое положение семей по среднему значению диаметра ствола сильно варьирует вплоть до 29 лет (см. рис. 1), в то время как высоты растений демонстрируют относительную стабилизацию рангового положения семей уже к 10–15-летнему возрасту (рис. 2). Это подтверждает необходимость первоочередного использования именно высоты ствола дерева при проведении селекционно-генетических исследований.

Изучение хода роста семей плюсовых деревьев ели европейской на нескольких участках показало, что достаточно точный прогноз относительной скорости роста семей плюсовых деревьев по высоте можно делать, начиная с 20-летнего возраста растений, по диаметру ствола – с 30-летнего.

Оценка уровня достоверности различий между семьями плюсовых деревьев на основе использования дисперсионного анализа выявила, что на всех 6 изученных участках различия между семьями по значениям основных биометрических показателей достоверны на уровне значимости 0,05. Единственное исключение получено для такого показателя, как диаметр ствола, на участке Таицкое-13, различия между семьями по которому недостоверны, что может объясняться высокой сомкнутостью крон на данном участке, непосредственно влияющей на достоверность различий по этому показателю. Пример различий между двумя семьями по средним значениям диаметра в сопоставлении с контролем для участка Порховское-119 приведен на рис. 3.

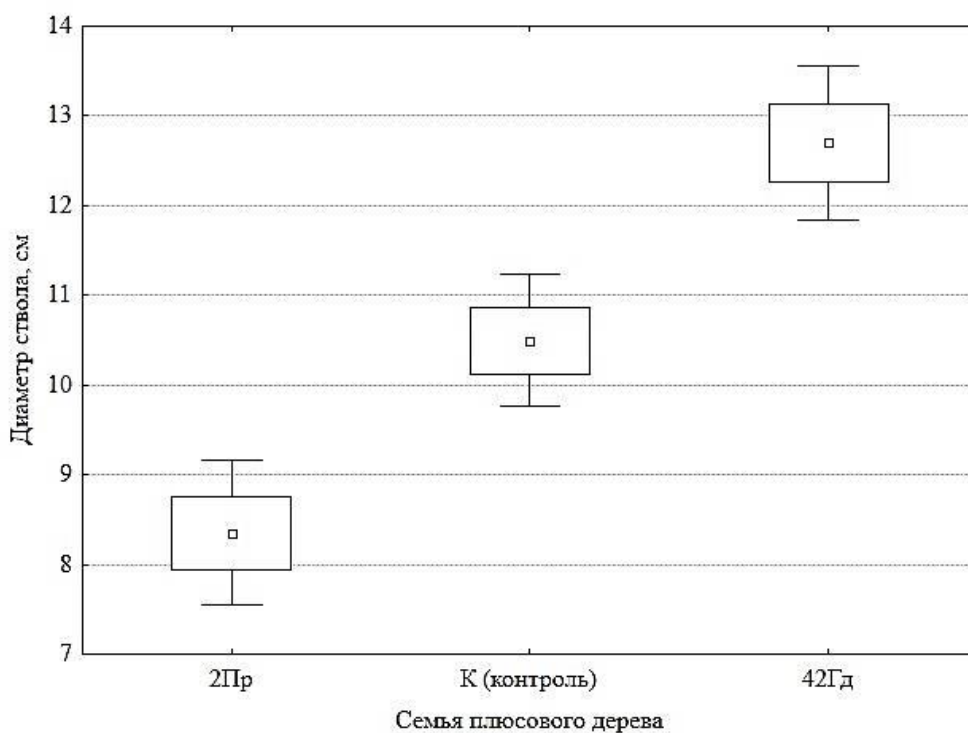


Рис. 3. Уровень различий между отдельными семьями по среднему значению диаметра ствола на участке испытательных культур ели европейской Порховское-119: 2Пр – медленнорастущая семья, К – контроль, 42Гд – быстрорастущая семья; □ среднее; □ среднее ± ошибка среднего; I среднее ± 1,96 × ошибка среднего

Fig. 3. The level of distinction between individual families by the average value of the trunk diameter of the Norway spruce in the area of progeny testing, Porkhovskoye-119: 2Пр – slowly growing family, К – control family, 42Гд – fast growing family; □ average; □ average ± standard error; I average ± 1,96 × standard error

Заметны четко выраженные отличия среднего значения диаметра как в меньшую, так и в большую сторону от контроля.

Уровень генетического разнообразия, рассчитываемый для основных биометрических показателей на основе соотношения внутрисемейной и межсемейной вариации, находится в тесной зависимости от уровня интенсивности различий между семьями по средним значениям соответствующих биометрических показателей, т. е. от того, насколько сильна дифференциация генотипов по этим показателям. Таким образом, скорость роста и интенсивность дифференциации семей ели европейской в испытательных культурах непосредственно влияют на значения показателей генетического разнообразия, рассчитываемых статистическими методами. Для целей нашего исследования в качестве основных биометрических показателей использовались высота, диаметр и объем ствола растений, представляющие наибольший практический интерес.

Коэффициенты наследуемости в узком смысле, рассчитанные по значениям варьирования основных биометрических показателей, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициенты наследуемости (h^2) в узком смысле
для основных биометрических показателей
на различных участках испытательных культур ели европейской**

Участок	Диаметр	Высота	Объем ствола
Орлинское-4	0,04	0,09	0,04
Орлинское-48	0,06	0,16	0,08
Гостилицкое-161	0,03	0,02	0,03
Порховское-119	0,03	0,02	0,02
Таицкое-12	0,07	0,03	0,07
Таицкое-13	0,02	0,06	0,02

Наблюдаются невысокие значения аддитивной вариации, составляющей по различным участкам и биометрическим показателям от 0,02 до 0,16. Причиной таких низких значений может быть как низкий уровень межсемейного генетического разнообразия на изученных участках, так и высокая вариабельность признаков, обусловленная неоднородностью факторов окружающей среды (мозаичность условий местопроизрастания, конкурентные взаимоотношения в древостое, влияние лиственных пород и др.).

Необходимо отметить, что на самом старшем из участков (Орлинское-48) значения коэффициента наследуемости высоты растений (0,16) сопоставимы со средними значениями данного показателя, полученными финскими лесоводами для сосны обыкновенной [23] и принятыми для расчетов в практической селекции [6]. Коэффициенты для других участков характеризуются очень низкими показателями аддитивной составляющей генетического варьирования и изменяются от 0,02 до 0,09 (в среднем – 0,04). Это объясняется несколькими причинами, в том числе низкой интенсивностью фенотипического отбора плюсовых деревьев, высоким уровнем варьирования случайных факторов (зарастание лиственными породами, неоднородность почвенных условий, конкурентные взаимоотношения и др.), а также возрастом древостоя [23, 25].

Выводы

1. Наиболее интенсивная смена рангового положения семей плюсовых деревьев в испытательных культурах по высоте наблюдается в возрасте 6–7 лет, после 7–8 лет основная масса семей стабилизирует свое относительное положение в древостое. В дальнейшем, вплоть до возраста окончательной оценки наследственных свойств плюсовых деревьев (41 год), существенное изменение рангового положения отмечается только у небольшой части семей (10...20 %).

2. Достаточно точный прогноз относительной скорости роста семей плюсовых деревьев по высоте растений можно делать, начиная с 20-летнего возраста, по диаметру ствола – с 30-летнего. Стабилизация рангового положения делает возможным прогноз продуктивности семей плюсовых деревьев, а на его основе – оценку генетических качеств плюсовых деревьев.

3. Средняя высота дерева является более стабильным показателем положения семьи в общей совокупности семей участка по сравнению с диаметром ствола дерева, что подтверждает целесообразность первоочередного использования именно высоты ствола дерева при проведении селекционно-генетических исследований.

3. Доля семей (кандидатов в элиту) при отборе по принципу достоверности отличий от контроля по диаметру и высоте по различным участкам испытательных культур варьирует от 9 до 39 % (в среднем 20 %). При этом семей, превосходящих контроль по диаметру на 5 % и более, на разных участках испытательных культур насчитывается 14...56 %.

4. Различия между семьями по значениям основных биометрических показателей достоверны на уровне значимости 0,05 на большинстве изученных участков. Превышение отдельных семей по скорости роста в высоту над контролем для различных участков составляет до 15 %, по диаметру – до 40 %, по объему ствола – до 120 %. Коэффициент наследуемости в узком смысле основных биометрических показателей варьирует от 0,02 до 0,16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Генетическая обусловленность скорости роста ели европейской в культуре // Лесоведение. 2007. № 1. С. 42–48.
2. Видякин А.И. Генетическая оценка плюсовых деревьев ели по семенному потомству // Аграр. вестн. Урала. 2009. № 5. С. 82–84.
3. Ворончихин Л.И., Видякин А.И., Овечкин С.М. Пути повышения эффективности работ по селекции сосны и ели в Кировской области // Селекция ценных форм древесных пород и их использование для создания целевых насаждений: сб. науч. тр. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1989. С. 79–83.
4. Долголиков В.И. О ранней диагностике быстрого роста в высоту у сосны и ели по прямому признаку // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции. Методы селекции древесных пород: тез. докл. совещ. Рига, 1974. С. 45–48.
5. Драгавцев В.А. Современные системы селекции растений // Разработка основ систем селекции древесных пород: тез. докл. совещ., Рига, 22–25 сент. 1981 г. / под ред.: В.М. Роне, Е.А. Пугач (отв. ред.). Рига, 1981. Ч. 1. С. 70–73.
6. Егоров М.Н. Испытание потомств как одна из ключевых проблем в генетике и селекции древесных пород (на примере *Pinus sylvestris* L.) // Лесн. вестн. 2002. № 5. С. 37–45.

7. Жигунов А.В., Бондаренко А.С., Николаева М.А. Первые результаты отбора элитных деревьев ели европейской в Ленинградской области // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 43–50. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Картель Н.А., Манцевич Е.Д. Генетика в лесоводстве. Минск: Наука и техника, 1970. 165 с.
9. Котов М.М., Лебедева Э.П. Применение биометрических методов в лесной селекции: учеб. пособие. Горький: ГГУ, 1977. 120 с.
10. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 168 с.
11. Маслаков Е.Л. Генезис и динамика социальных структур сосны в фазе индивидуального роста // Таежные леса на пороге XXI в.: тр. СПбНИИЛХ. СПб., 1999. С. 42–51.
12. Мордась А.А., Раевский Б.В., Акимова Е.В. Рост и развитие полусибирских потомств сосны обыкновенной на ранних этапах онтогенеза // Научные основы селекции древесных растений Севера. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 1998. С. 43–50.
13. Ненюхин В.Н. Внутривидовая гибридизация и генетико-селекционная оценка плюсовых деревьев в клонах на лесосеменных плантациях первого порядка как принципы повышения продуктивности насаждений сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*): автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1997. 38 с.
14. Основные положения методики закладки испытательных культур плюсовых деревьев основных лесобразующих пород. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1982. 18 с.
15. Разин Г.С. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 18–23. (Изв. высш. учеб. заведений).
16. Роне В.М. Генетический анализ лесных популяций. М.: Наука, 1980. 160 с.
17. Сахаров В.И. Возможности метода фоновых признаков при изучении фенетической структуры популяций // Состояние и перспективы развития лесной генетики, селекции, семеноводства и интродукции: тез. докл. совещ. Рига, 1974. С. 103–106.
18. Сеннов С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса // Тр. СПбНИИЛХ. СПб., 1999. 98 с.
19. Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 198 с.
20. Царев А.П. Программы лесной селекции: зарубежный и отечественный опыт: обзор // Учен. зап. Петрозав. гос.ун-та. 2014. № 2. С. 70–76.
21. Царев А.П., Погиба С.П., Тренин В.В. Селекция и репродукция лесных древесных пород. М.: Логос, 2003. 520 с.
22. Этверк И.Э. Результаты испытания потомств елей одного насаждения // Разработка основ систем селекции древесных пород: тез. докл. совещ., Рига, 22–25 сент. 1981 г. Рига, 1981. Ч. 1. С. 122–125.
23. Naaränen M., Velling P., Annala M.-L. Progeny Trial Estimates of Genetic Parameters for Growth and Quality Traits in Scots Pine // *Silva Fennica*. 1997. Vol. 31, no. 1. Pp. 3–12.
24. Jiang I.B.J. Early Testing in Forest Tree Breeding: a Review // *Forest Tree Improvement*. 1987. No. 20. Pp. 45–78.
25. Sato T. Time Trends for Genetic Parameters in Progeny Tests of *Abies Sachalinensis* // *Silvae Genetica*. 1994. Vol. 43, no. 5–6. Pp. 304–307.
26. Ruotsalainen S. Increased Forest Production through Forest Tree Breeding // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 29, no. 4. Pp. 333–344.

UDC 630*165.6:630*232.19

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.65

Age of Assessment for the Norway Spruce Genetic Properties in Progeny Tests

A.V. Zhigunov¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A.S. Bondarenko², Candidate of Agricultural Sciences

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy pr., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: a.zhigunov@bk.ru

² Saint Petersburg State Forestry Research Institute, Institutskiy pr., 21, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: asbond@mail.ru

The final assessment of the genetic properties of the plus trees in the progeny tests was performed at the 1/2 age of Norway spruce ripeness in the specific forest zone. This postpones the implementation of the main breeding programs in forestry for an extended period of time. The purpose of the study is to determine the age at which the ranking of plus tree families no longer changes. This is possible due to the comparative assessment of the growth rate of Norway spruce plus tree families in progeny tests. The results obtained can serve as a support in determining the age of their final genetic assessment. The research was carried out on 6 plots of progeny tests in Leningrad and Pskov regions. Some families showed higher values of parameters in different plots in comparison with the control ones: they were up to 15 % for height, up to 40 % for diameter, and about 120 % for the trunk volume. The quantity of eligible families provided that the selection is based on the principle of reliability of differences in diameter and height parameters from the control plots, is from 9 to 39 % (on average 20 %) in different plots of progeny tests. From 14 to 56% of the families exceeded the diameter in the control plots by more than 5 %. The significance level of the differences between the families in terms of the values of the basic biometric parameters is 0.05. During the first 10 years of life, the rank order of the plus tree families changes time and again. Subsequently, the rank order of the families stabilizes, which makes it possible with a high degree of probability to make a conclusion about the genetic value of a plus tree. Height is a more stable parameter in comparison with diameter that is why this parameter is more suitable for a comparative assessment of the family productivity. The heritability coefficient, in the narrow sense of the basic biometric parameters, is from 0.02 to 0.16. The highest values were obtained for the oldest progeny tests with the highest quality of tending and selection of plus trees. It is possible to predict rather accurately the relative growth rate of plus tree families in terms of height starting from the age of 20, and in terms of diameter, from the age of 30.

Keywords: progeny tests, growth rate, rank order, plus tree families, age of assessment.

REFERENCES

1. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Geneticheskaya obuslovlennost' skorosti rosta eli evropeyskoy v kul'ture [Genetically Determined Growth Rate of Norway Spruce in Culture]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2007, no. 1, pp. 42–48.

2. Vidyakin A.I. Geneticheskaya otsenka plyusovykh derev'yev eli po semennomu potomstvu [Genetic Evaluation of Spruce Plus Trees by Seed Offsprings]. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2009, no. 5, pp. 82–84.

For citation: Zhigunov A.V., Bondarenko A.S. Age of Assessment for the Norway Spruce Genetic Properties in Progeny Tests. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 65–81. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.65

3. Voronchikhin L.I., Vidyakin A.I., Ovechkin S.M. Puti povysheniya effektivnosti rabot po selektsii sosny i eli v Kirovskoy oblasti [Methods for Increasing the Efficiency of Pine and Spruce Tree Breeding in Kirov Region]. *Selektsiya tsennykh form drevesnykh porod i ikh ispol'zovaniye dlya sozdaniya tselevykh nasazhdeniy*: sb. nauch. tr. [Tree Breeding of Valuable Tree Species and Their Use for the Establishment of Target Plantations. Collection of Academic Papers], Voronezh, TSNILGiS Publ., 1989, pp. 79–83.

4. Dolgolikov V.I. O ranney diagnostike bystrogo rosta v vysotu u sosny i eli po pryamomu priznaku [About Early Direct Detection of Accelerated Height Growth for Pine and Spruce]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnoy genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii. Metody selektsii drevesnykh porod*: sb. tez. dokl. [Status and Prospects of Forest Genetics, Breeding, Seed Production and Introduction: Tree Breeding Methods. Conf. Proc.], Riga, 1974, pp. 45–48.

5. Dragavtsev V.A. Sovremennyye sistemy selektsii rasteniy [The Modern Systems of Plant Breeding]. *Razrabotka osnov sistem selektsii drevesnykh porod: tez. dokl. soveshch., Riga, 22–25 sent. 1981 g.* [Development of the Basis for Tree Species Breeding Systems: Abstracts of the Meeting Reports, Riga, September 22–25, 1981]. Ed. by V.M. Rone, E.A. Pugach, Riga, 1981, part 1, pp. 70–73.

6. Egorov M.N. Ispytaniye potomstv kak odna iz klyuchevykh problem v genetike i selektsii drevesnykh porod (na primere *Pinus sylvestris* L.) [The Progeny Testing as One of the Key Problems in Tree Breeding (on the Example of *Pinus Sylvestris* L.)]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2002, no. 5, pp. 37–45.

7. Zhigunov A.V., Bondarenko A.S., Nikolayeva M.A. Pervyye rezul'taty otbora elitnykh derev'yev eli evropeyskoy v Leningradskoy oblasti [Primary Results of Spruce Elite Trees Selection in Leningrad Region]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 3, pp. 43–50.

8. Kartel' N.A., Mantsevich E.D. *Genetika v lesovodstve* [Genetics in Forestry]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1970. 165 p. (In Russ.)

9. Kotov M.M., Lebedeva E.P. *Primeneniye biometricheskikh metodov v lesnoy selektsii*: ucheb. posobiye [The Use of Biometric Methods in Tree Breeding. Educational Textbook]. Gor'kiy, GGU Publ., 1977. 120 p. (In Russ.)

10. Maslakov E.L. *Formirovaniye sosnovykh molodnyakov* [Formation of Young Pine Stands]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 168 p. (In Russ.)

11. Maslakov E.L. Genezis i dinamika sotsial'nykh struktur sosny v faze individual'nogo rosta [Genesis and Dynamics of Social Structures of Pine in the Phase of Individual Growth]. *Tayezhnyye lesa na poroge XXI v.:* tr. SPbNIILKH [Taiga Forests on the Threshold of the 21st Century. Proc. of SPbNIILKH]. Saint Petersburg, 1999, pp. 42–51.

12. Mordas' A.A., Rayevskiy B.V., Akimova E.V. Rost i razvitiye polusibsovykh potomstv sosny obyknovennoy na rannikh etapakh ontogeneza [Growth and Development of Half-Sibs Scots Pine Progenies in the Early Stages of Ontogenesis]. *Nauchnyye osnovy selektsii drevesnykh rasteniy Severa* [Scientific Basis of North Forest Plant Breeding]. Petrozavodsk, Karel. NTS RAN Publ., 1998, pp. 43–50.

13. Nenyukhin V.N. *Vnutrividovaya gibridizatsiya i genetiko-selektsionnaya otsenka plyusovykh derev'yev v klonakh na lesosemennykh plantatsiyakh pervogo poryadka kak printsipy povysheniya produktivnosti nasazhdeniy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris)*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Intraspecific Hybridization and Genetic and Breeding Evaluation of Plus Trees in Clones on the First-Order Plantations as the Principles of Increasing Productivity of Scots Pine Forest Plantations (*Pinus sylvestris*): Dr. Agric. Sci. Diss.]. Moscow, 1997. 38 p.

14. *Osnovnyye polozheniya metodiki zakladki ispytatel'nykh kul'tur plyusovykh derev'yev osnovnykh lesobrazuyushchikh porod* [Fundamental Principles of the Methodology for Foundation of Progeny Tests for the Dominant Forest Tree Species]. Voronezh, TSNILGiS Publ., 1982. 18 p.

15. Razin G.S. O zakonakh i zakonomernostyakh rosta i razvitiya, zhizni i otmiraniya drevostoyev [On the Laws and Mechanisms of Growth and Development, Life and Dieback of Stands]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 1, pp. 18–23.

16. Rone V.M. *Geneticheskiy analiz lesnykh populyatsiy* [Genetic Analysis of Forest Populations]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 160 p. (In Russ.)

17. Sakharov V.I. Vozmozhnosti metoda fonovykh priznakov pri izuchenii fe-nogeneticheskoy struktury populyatsiy [The Potential of the Background Features in Studying of Phenogenetical Population Structure]. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnoy genetiki, selektsii, semenovodstva i introduktsii: tez. dokl. soveshch.* [Status and Prospects of Forest Genetics, Tree Breeding, Seed Production and Introduction. Meeting Proc.]. Riga, 1974, pp. 103–106.

18. Sennov S.N. *Itogi 60-letnikh nablyudeniy za estestvennoy dinamikoy lesa*: tr. SPbNIILKH [Results of 60 Years Observations of Natural Forest Dynamics. SPbNIILKH Proc.]. Saint Petersburg, 1999. 98 p.

19. *Ukazaniya po lesnomu semenovodstvu v Rossiyskoy Federatsii* [Guidelines on Forest Seed Production in the Russian Federation]. Moscow, VNIITSlesresurs Publ., 2000. 198 p.

20. Tsarev A.P. Programmy lesnoy selektsii: zarubezhnyy i otechestvennyy opyt: obzor [Forest Tree Breeding Programs: Foreign and Domestic Experience. Review]. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University], 2014, no. 2, pp. 70–76.

21. Tsarev A.P., Pogiba S.P., Trenin V.V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod* [Breeding and Reproduction of Forest Tree Species]. Moscow, Logos Publ., 2003. 520 p. (In Russ.)

22. Etverk I.E. Rezul'taty ispytaniya potomstv eley odnogo nasazhdeniya [Progeny Test Results for a Spruce Stand]. *Razrabotka osnov sistem selektsii drevesnykh porod: tez. dokl. soveshch.*, Riga, 22–25 sent. 1981 g. [Development of Basics of Tree Species Breeding Systems: Abstracts of the Meeting Reports, Riga, September 22–25, 1981]. Riga, 1981, pp. 122–125.

23. Haapanen M., Velling P., Annala M.-L. Progeny Trial Estimates of Genetic Parameters for Growth and Quality Traits in Scots Pine. *Silva Fennica*, 1997, vol. 31, no. 1, pp. 3–12.

24. Jiang I.B.J. Early Testing in Forest Tree Breeding: a Review. *Forest Tree Improvement*, 1987, no. 20, pp. 45–78.

25. Sato T. Time Trends for Genetic Parameters in Progeny Tests of *Abies Sachalinensis*. *Silvae Genetica*, 1994, vol. 43, no. 5–6, pp. 304–307.

26. Ruotsalainen S. Increased Forest Production through Forest Tree Breeding. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, vol. 29, no. 4, pp. 333–344.

Received on June 17, 2018

УДК 582.475:551.583

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

РЕАКЦИЯ РОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ШИРОТНОМ ГРАДИЕНТЕ*

Е.Н. Наквасина¹, д-р с.-х. наук, проф.

Н.А. Прожерина², канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

А.В. Чупров³, асп., ст. специалист

В.В. Беляев², д-р с.-х. наук, проф.

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

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, 163000, Россия; e-mail: pronad1@yandex.ru, beljaew29@mail.ru

³Министерство природных ресурсов и ЛПК Архангельской области, ул. Выучейского, д. 18, г. Архангельск, 163000; e-mail: alexchuprov@mail.ru

На примере потомства сосны обыкновенной, произрастающей в географических культурах подзоны средней тайги (Архангельская область), смоделирована реакция породы на различные сценарии изменения климата. Подобраны климатипы с различным местоположением исходных насаждений, отличающимся в широтном градиенте на 2...3° с. ш. Пинежский климатип (Архангельская область, подзона северной тайги) при выращивании в подзоне средней тайги имитирует потепление климата, тотемский климатип (Вологодская область, подзона южной тайги) – похолодание. Плесецкий климатип (Архангельская область, средняя подзона тайги) – местный для пункта испытания, является сравнительным эталоном сохранения адаптационных признаков в постоянстве климата. Изучены выживаемость (сохранность), рост и продуктивность культур. У тотемского климатипа заметное снижение сохранности происходит в первые годы после посадки, у плесецкого и пинежского климатипов процесс снижения сохранности, а следом и дифференциации насаждения растянуты, сдвинуты на более поздние сроки. К концу 2-го класса возраста происходит нивелирование ростовых процессов, связанное с изменением климатических характеристик места произрастания. Пинежский климатип сохраняет наследственно обусловленное отставание по радиальному и линейному росту от местной популяции одновозрастной сосны в пункте испытания соответственно на 13 и 8 %, тотемский климатип близок по диаметру к плесецкому, но опережает его по высоте на 10 %. Распределение диаметров ствола северотаежного потомства сосны значительно отличается от средне- и южнотаежного климатипов. Используя широтные коэффициенты роста, предложенные И.В. Волосевичем (1984 г.), для культур того же возраста рассчитаны соответствующие показатели в местах произрастания исходных насаждений, что позволило определить отклонения в показателях при имитации потепления или похолодания. Установлено, что при потеплении климата в бореальном поясе с повышением суммы температур воздуха более 10 °С на каждые 100 °С суммы эффективных температур

* *Финансирование:* Исследование частично выполнено при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы № 0409-2015-0141 «Структура и изменчивость популяций лесных сообществ на приарктических территориях севера Русской равнины в условиях изменяющегося климата».

Для цитирования: Наквасина Е.Н., Прожерина Н.А., Чупров А.В., Беляев В.В. Реакция роста сосны обыкновенной на климатические изменения в широтном градиенте // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 82–93. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

можно ожидать увеличения показателей по росту и продуктивности сосны обыкновенной на 2...5 %. При похолодании климата (снижение суммы эффективных температур на каждые 100 °С) изменение ростовых показателей (диаметр, высота, объем ствола) будет аналогично случаю повышения температуры – они уменьшаться на 2...5 %. Однако пониженная приживаемость южнотаежного потомства при выращивании в более суровых климатических условиях (снижение сохранности в первые годы после посадки) может привести к значительной потере продуктивности – до 15 % на каждые 100 °С снижения суммы температур более 10 °С. Сгладить эффект от реакции можно за счет повышения качества лесокультурного производства.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, географические культуры, климатипы, рост, продуктивность, климатические изменения.

Введение

Сосна обыкновенная имеет непрерывный ареал распространения, на протяжении которого наблюдается климатическая дифференциация популяции на географические расы. Дж. Райт [10] предполагает, что расстояние, при котором одна раса отличается от другой, у сосны обыкновенной составляет 50...100 миль. В пределах непрерывного ареала географические расы входят в клинальный ряд. Клинальность изменения признаков на обширной территории России, по крайней мере в пределах 800 км, в широтном направлении была обоснована И.В. Волосевичем [1]. Он связывает проявление клинальности в росте древесных пород, в том числе сосны обыкновенной, с изменением суммы температур выше более чем на 10 °С, принимая температурный фактор ведущим, от которого зависит рост растений, что согласуется с исследованиями В. Persson [18]. При этом на каждый градус широты показатели, изменяясь на одинаковую величину в процентном выражении, создают единство широтной изменчивости.

Предполагается, что географические расы древесных пород отличаются адаптационными признаками, генетическими комплексами [2], а следовательно, могут иметь различную отзывчивость на климатические изменения. При этом может проявиться широкий спектр генетического разнообразия вида, отражающий его дифференциацию и экологическую устойчивость [9]. Вопросы реакции древесных пород ростом и продуктивностью на происходящие изменения климата обсуждаются учеными [11, 17, 18, 22, 23]. Предполагается [19] присутствие явления «адаптивного запаздывания» – ответной реакции вида на климатические изменения с отставанием примерно на 100 лет. По мнению J. Beaulieu, A. Rainville [12], потребуется несколько поколений для адаптации породы к климатическим изменениям. Однако прогнозирование изменений в росте и продуктивности лесобразующих пород на современном этапе позволит правильно спланировать подход к подбору источников семян, их трансфер для лесовосстановительных работ и в целом подходы к сценариям ведения устойчивого лесного хозяйства в новых условиях [14, 23].

В настоящее время единственной природной моделью имитации климатических изменений считаются географические культуры. Значение их в этом аспекте исследований признается в мировой науке [13, 15, 16, 21] и поддержано нами в процессе реакции сосны обыкновенной и ели обыкновенной ростом и репродукцией при изучении имитации потепления климата [6–8]. Сосна обыкновенная при сохранении наследственно закрепленной реакции деревьев на климатические факторы обладает значительной адаптивностью при резких изменениях климата [11].

В настоящей работе рассматривается гипотеза сохранения или нивелирования генетически обусловленных ростовых процессов сосны обыкновенной в широтном градиенте произрастания при имитации разнонаправленных климатических изменений (потепление и похолодание).

Объекты и методы исследования

Исследования выполняли в географических культурах, созданных в 1977 г. в Плесецком районе Архангельской области, в подзоне средней тайги, по С.Ф. Курнаеву [4]. Проводили посадку 3-летних сеянцев по сплошь подготовленной почве на старой вырубке из-под ельника черничного. Размещение: в ряду – 0,75 м, между рядами – 2,5 м. Географические культуры входят в государственную сеть географических культур, заложенную по приказу Гослесхоза СССР № 29 от 06.02.1973 г., и курируются Северным НИИ лесного хозяйства (СевНИИЛХ).

Для исследований были подобраны 3 климатипа сосны обыкновенной (табл. 1) с различным местоположением исходных насаждений, отличавшихся в широтном градиенте на 2...3° с. ш. Обследования климатипов в возрасте культур 11–39 лет проведены авторами в различном составе, данные по сохранности культур в возрасте 5 лет взяты из архивных материалов СевНИИЛХ.

Таблица 1

Географические координаты и климатические характеристики мест произрастания исходных насаждений климатипов сосны обыкновенной

Область, район, номер климатипа*	Географические координаты мест заготовки семян, град с. ш. / в. д.	Длина вегетационного периода, дн.	Средняя годовая температура, °С	Сумма температур более 10 °С**, °С	Широтный коэффициент роста **
Архангельская, Пинежский, 3	64°45' / 43°14'	132	-0,1	1066	1,08
Архангельская, Плесецкий, 4	62°54' / 40°24'	148	1,0	1350	1,36
Вологодская, Тотемский, 9	60°00' / 43°00'	155	1,9	1600	1,56

*Номера климатипов приведены согласно паспортам географических культур.

**Средние данные суммы температур для координат северной широты и широтные коэффициенты роста (ш.к.р.) для сосняков черничного типа леса по И.В. Волосевич [1].

Плесецкий климатип (Плесецкий район Архангельской области) – местный для пункта испытания, является сравнительным эталоном сохранения адаптационных признаков в постоянстве климата. Потомство Пинежского климатипа (Пинежский район Архангельской области, подзона северной тайги) перемещено для выращивания в пункте испытания на 2° с. ш. к югу и имитирует потепление при повышении суммы эффективных температур более 10 °С на 280 °С. Тотемский климатип (Тотемский район Вологодской области), исходное насаждение которого произрастает в подзоне южной тайги, а потомство перемещено для выращивания в пункте испытания на 3° с. ш., имитирует похолодание с разницей в сумме эффективных температур более 10 °С на 250 °С.

Все климатипы имеют близкое расположение в меридианальном отношении, отклонение составляет 3° в. д. и соответствует степени изменчивости температурного показателя не более 0,3 % [1].

Использовали общепринятую методику изучения географических культур [3], которую применяли и ранее [2]. Определяли сохранность (в процентах) деревьев в блоках сплошным пересчетом на учетных рядах. Проводили замеры диаметров не менее чем у 100 деревьев, выбранных случайно в рядах каждого климатипа, фиксировали качество ствола (прямоствольные, слабоискривленные, сильноискривленные и многоствольные). Среднюю высоту определяли по графику высот, для построения которого замеры высоты и диаметр на высоте груди не менее чем у 20 деревьев разных ступеней толщины в климатипе. Объем ствола рассчитывали по формуле В.Е. Левина в модернизации Г.С. Войнова [5, с. 42], запас – с учетом сохранности из расчета на среднюю плотность лесных культур, принятую для региона (4 тыс./га). Строили гистограммы распределения диаметра стволов с использованием интервальных оценок критериев согласия хи-квадрат и Колмогорова–Смирнова, количество интервалов определяли по эмпирической формуле Старджесса.

Результаты исследования и их обсуждение

Адаптационные свойства породы, закрепленные наследственно в потомстве географической расы, прежде всего отражаются в сохранности растений при посадке лесных культур. Показатели коэффициента корреляции сохранности с северной широтой в коллекции климатипов сосны обыкновенной в географических культурах 1-го класса возраста в Мурманской и Архангельской областях, Республике Коми составили 0,74...0,86 [2].

При выращивании породы в условиях подзоны средней тайги (Плесецкий район, Архангельская область), что для пинежского и тотемского климатипов представляется имитацией изменения климата, эти наследственные адаптационные способности сохраняются, хотя, скорее всего, несколько нивелируются равными условиями произрастания в одном пункте испытания. Стабильно более высокую сохранность в течение двух десятилетий роста культур имеет потомство пинежской сосны из подзоны северной тайги. Потомство сосны из подзоны южной тайги к концу второго десятилетия заметно отстает по сохранности от пинежского (на 14,4 %) и плесецкого (на 6,0 %) климатипов (рис. 1).

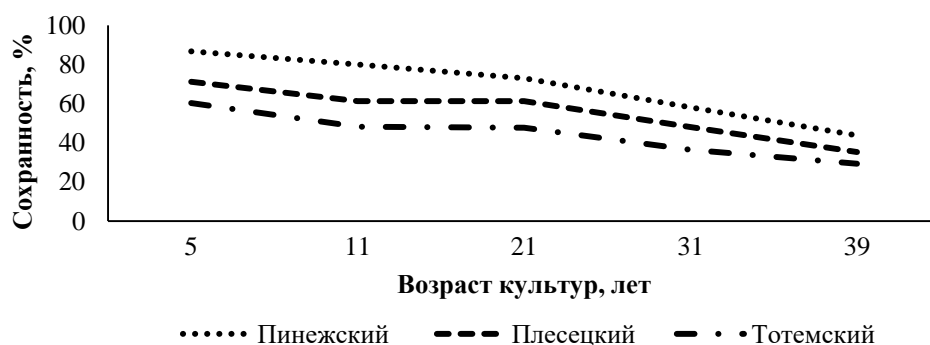


Рис. 1. Динамика сохранности климатипов сосны обыкновенной
Fig. 1. Dynamics of climatypes preservation of Scots pine

Адаптационные различия по сохранности сосны проявились сразу после посадки сеянцев на лесокультурную площадь. В первые 5 лет отпад высаженных деревьев у тотемского потомства из подзоны южной тайги был в 2,5–3 раза выше, чем у более северных потомств. С возрастом различия по сохранности несколько сглаживаются, что связано с динамикой формирования древостоев. В культурах 1-го класса возраста наследственно обусловленное соотношение отпада деревьев между потомствами сохраняется (табл. 2), позднее заметно усиление отпада деревьев у пинежского потомства. В этот период при смыкании крон в рядах и междурядиях и увеличении конкуренции за площадь питания усиливается дифференциация деревьев, которая проявляется более заметно в культурах у потомства с большей густотой.

Таблица 2

Динамика отпада высаженных деревьев в климатипах сосны обыкновенной

Климатип	Отпад, %, за период возраста культур, лет				
	> 5	5–11	11–21	21–31	31–39
Пинежский	13,3	6,7	7,0	14,9	14,3
Плесецкий	18,2	9,9	–	13,3	12,7
Тотемский	39,7	12,1	0,5	11,3	7,1

В результате в возрасте 39 лет наблюдаются отличия в росте между климатипами разного происхождения, связанные с отпадом высаженных растений. Распределение деревьев по диаметру можно считать нормальным (хи-квадрат равен 9,7 при критическом значении 11,1) только у тотемского климатипа, начавшего и завершившего процесс возрастной дифференциации деревьев, связанной со смыканием крон, раньше, чем северные потомства. У плесецкого и пинежского климатипов процесс дифференциации растянут, сдвинут на более поздние сроки, и эмпирическое распределение деревьев по диаметру во 2-м классе возраста отличается от теоретического (хи-квадрат равен соответственно 17,3 и 21,3 при критическом значении 11,1).

Эта тенденция проявляется и в средних показателях роста потомств. В 1-м классе возраста наблюдается лучший рост по высоте и диаметру у тотемского климатипа сосны обыкновенной, несмотря на то, что климатические условия произрастания при имитации похолодания стали хуже (табл. 3).

Таблица 3

Рост и продуктивность климатипов сосны обыкновенной

Климатип	Диаметр, см, в возрасте культур, лет		Высота, м, в возрасте культур, лет		Объем ствола, м ³	Запас древесины, м ³ /га	Количество прямоствольных деревьев, %
	21	39	21	39			
Пинежский	9,2	15,9	5,6	15,3	0,150	258	86
Плесецкий	10,2	18,2	6,2	16,6	0,213	298	87
Тотемский	10,7	17,8	6,6	18,2	0,218	253	81

Отличие тотемского потомства от местного среднетаежного (плесецкого) климатипа сосны по диаметру и высоте составляло 5...10 %. Примерно такое же отклонение характерно и для пинежского климатипа сосны, т. е. несмотря на имитацию потепления (перенос потомства в более южное место произрастания) наблюдалось устойчивое отставание в росте.

К концу 2-го класса возраста эта тенденция сохранялась, но происходило нивелирование ростовых процессов, связанное с изменением климатических характеристик места произрастания. Пинежский климатип сохранял наследственно обусловленное отставание по радиальному и линейному росту от местной популяции одновозрастной сосны в пункте испытания на 13 и 8 % соответственно, тотемский климатип был близок по диаметру к плесецкому, но опережал его по высоте на 10 %.

Распределение деревьев по диаметру в климатипах достаточно близкое (средние показатели входят в одну ступень толщины). В климатипах, которые растут в измененных климатических условиях, число крупных деревьев (более средней ступени) меньше, чем в местном климатипе на 7...13 % (рис. 2), при аналогичном увеличении численности в «левой» стороне кривой численности. Левосторонний эксцесс (-0,125) особенно проявляется у пинежского климатипа по сравнению с плесецким и тотемским (-0,566 и -0,787). Распределение диаметров ствола северотаежного потомства значительно отличается от средне- и южнотаежного климатипов (хи-квадрат соответственно равен 118,6 и 82,6, что выше критического значения 11,1). У плесецкого и тотемского климатипов характер кривых распределения близок (хи-квадрат равен 11,0, что ниже критического 11,1).

Нивелирование средних показателей происходит за счет реакции на имитацию климатических изменений (потепление у пинежского климатипа, похолодание у тотемского), однако при этом наследственные свойства потомства популяций, сформированных на разных широтах, в определенной мере сохраняются и влияют на реализацию продукционных процессов. Влияет также и адаптационный процесс, отражающийся в выживаемости потомства на разных этапах развития насаждений. Косвенно на этапах формирования насаждений в стабильных или измененных климатических условиях он может быть связан с темпами дифференциации древостоя в связи с разной их сохранностью в 1-2-м классах возраста. Все это отражается в средних показателях роста потомства, объема ствола и запаса стволовой древесины.

Вследствие разной сохранности потомств, их ростовых особенностей, связанных с наследственными свойствами роста, реализующимися в новых условиях произрастания, сосна из северной и южной подзон тайги формирует запас стволовой древесины на 15 % ниже, чем одновозрастные рядовые культуры местного происхождения. Число прямоствольных деревьев во всех испытываемых потомствах достаточно высокое (табл. 3), но при имитации похолодания оно снижается до 81 % у тотемского климатипа.

Представляется интересным сравнение климатипов по росту и продуктивности не только с одновозрастным местным климатипом в пункте испытания, но и с местными лесными культурами того же возраста в местах произрастания исходных насаждений. Однако проблематично найти объекты сравнения, совпадающие по возрасту, технологии создания, экологическим условиям произрастания. Мы воспользовались возможностью перерасчета исходных данных через ш. к. р., предложенные И.В. Волосевичем [1] и позволяющие по показателям роста эталонного местного (плесецкого) климатипа рассчитать соответствующие показатели для любой широты (в пределах 58...67° с. ш.). Показатель ш. к. р. основывается на данных 98 метеостанций, анализе материалов по 13 лесхозам и базе натуральных материалов. Он показывает сходство по высотам натурального обследования лесных культур $\pm 3,5$ %.

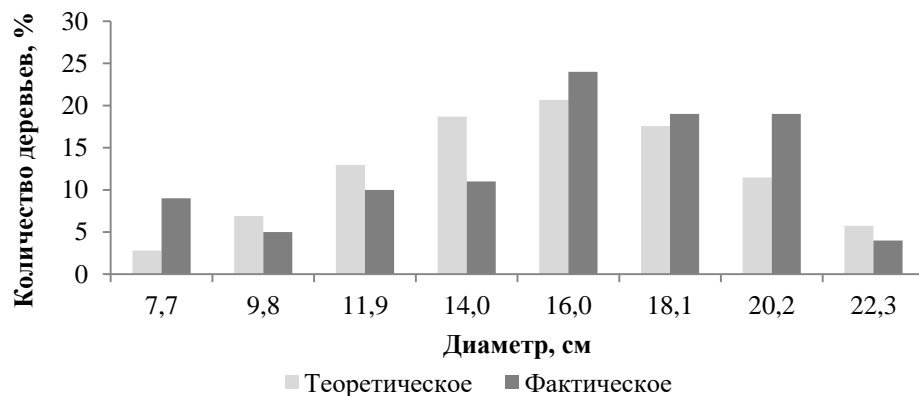
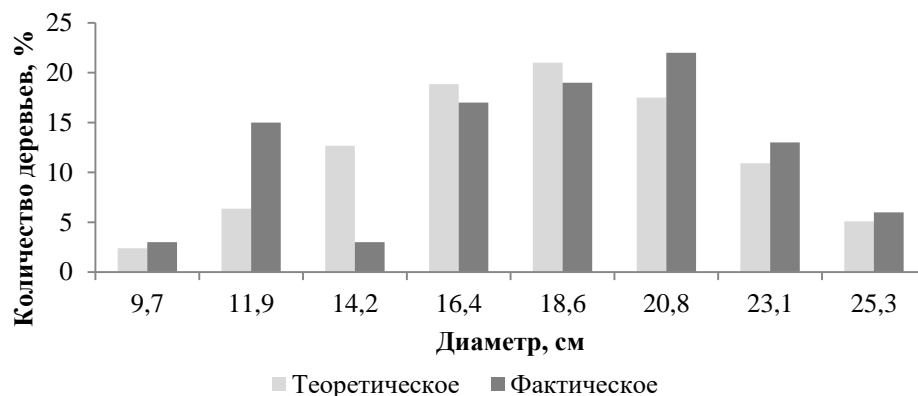
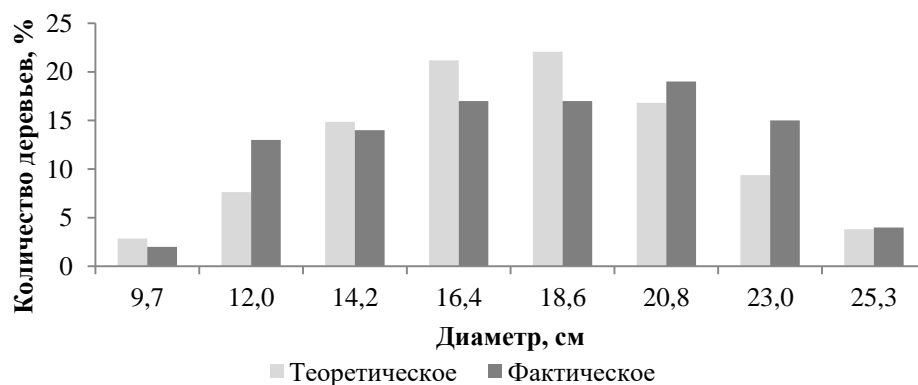
*a**б**в*

Рис. 2. Гистограммы фактического и теоретического распределения деревьев в климатипах по ступеням толщины в возрасте 39 лет: *a* – пинежский; *б* – плесецкий; *в* – тотемский

Fig. 2. Histograms of actual and theoretical distribution of trees in climatypes according to the diameter classes at the age of 39: *a* – Pinega; *б* – Plesetsk; *в* – Totma

Рассчитанные для пинежского и тотемского климатипов сосны обыкновенной показатели, приведенные в табл. 4, позволяют судить об уровне их повышения и понижения в связи с изменением климатических условий произрастания (имитация изменения климата).

Таблица 4

Изменение показателей роста климатипов сосны обыкновенной при имитации потепления и похолодания в возрасте культур 39 лет

Климатип	Средний диаметр		Средняя высота		Объем ствола среднего дерева	
	см	Δр	м	Δр	м ³	Δр
Пинежский	<u>15,9</u>	+8,8	<u>15,3</u>	+18,4	<u>0,150</u>	+12,7
	14,5		12,5		0,169	
Тотемский	<u>17,8</u>	-14,8	<u>18,2</u>	-4,4	<u>0,218</u>	-11,9
	20,9		19,0		0,244	

Примечания. 1. В числителе приведены фактические данные для культур в возрасте 39 лет, в знаменателе – рассчитанные с использованием ш. к. р. по [1]. 2. Δр – различия (%) фактических данных и расчетных при имитации потепления и похолодания.

Так, при потеплении климата на сумму температур более 10 °С, равную 280 °С, в культурах 2-го класса возраста произойдет увеличение средних высоты, диаметра, объема ствола среднего дерева не более чем на 10...20 %, т. е. при потеплении климата в бореальном поясе увеличение показателей по росту может составить порядка 3...6 % на каждые 100 °С суммы эффективных температур.

Положительная отзывчивость ростовыми характеристиками при переносе сосны обыкновенной в более теплые условия произрастания была выявлена и при изучении евразийских климатипов сосны обыкновенной [20].

При похолодании климата на величину примерно того же порядка (250 °С суммы эффективных температур более 10 °С) сосна обыкновенная 2-го класса возраста в рядовых лесных культурах снизит диаметр, высоту и объем ствола на 4...15 % по отношению к росту и объему ствола среднего дерева. В среднем при похолодании климата уменьшение продуктивности при понижении суммы эффективных температур на каждые 100 °С составит 2...5 %.

В процессе выращивания потомства северо- и южнотаежной сосны обыкновенной в условиях имитации потепления и похолодания примерно на одинаковую величину, выраженную в сумме эффективных температур выше 10 °С, наблюдается адекватная реакция ростом.

Запас лесных культур в значительной степени определяется их сохранностью, отражающей адаптационную выживаемость потомства. Повышение запаса в искусственных насаждениях будет обеспечиваться как ростовыми показателями, связанными с реакцией на климат, так и сохранностью лесных культур, которую могут обеспечить высокая агротехника лесокультурного производства и использование посадочного материала с закрытой корневой системой.

Заключение

Географические культуры, как уникальный природный объект, при использовании различных научных подходов дают возможность проводить прогнозные исследования, позволяющие моделировать реакцию древесных пород на различные сценарии изменения климата. Подбор соответствующих климатипов

может обеспечить понимание ожидаемых изменений и предложить варианты адаптации при проигрывании направлений ведения устойчивого лесного хозяйства на севере нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волосевич И.В.* Закономерности широтной изменчивости роста древесной растительности в лесах Европейского Севера и их практическое использование // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. Архангельск: АрхНИИЛиЛХ, 1984. С. 27–38.
2. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ / под ред. Е.П. Проказина. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
3. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 240 с.
4. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: нормативные материалы для НАО, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми / сост.: Войнов Г.С. и др. Архангельск: Правда Севера, 2012. 672 с.
5. *Наквасина Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Ест. науки. 2003. В. 2, т. 4. С. 48–53.
6. *Наквасина Е.Н.* Изменения в генеративной сфере сосны обыкновенной при имитации потепления климата // Изв. СПбЛТА. 2014. Вып. 209. С. 114–125.
7. *Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Покатило А.В.* Ростовая и репродуктивная реакции *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) при имитации потепления климата // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2016. № 1. С. 89–96.
8. *Наквасина Е.Н., Юдина О.А., Прожерина Н.А., Камалова И.И., Минин Н.С.* Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере. Архангельск: АГТУ, 2008. 308 с.
9. *Петров С.А.* Генетические ресурсы лесообразующих видов, пути их создания и рационального использования // Лесоразведение и лесомелиорация: обзор. информ. М.: ЦБНТИлесхоз, 1987. Вып. 1. 30 с.
10. *Райт Дж.* Введение в лесную генетику / пер. с англ. А.Ф. Клячко, Л.Я. Полозовой, Л.П. Воеводкиной; под ред. Л.Ф. Правдина, В.А. Бударягина. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 470 с.
11. *Савва Ю.Е., Ваганов Е.А.* Адаптация сосны обыкновенной к изменению климатических условий // Докл. АН РАН. 2002. Т. 385, № 1. С. 135–138.
12. *Beaulieu J., Rainville A.* Adaptation to Climate Change: Genetic Variation is Both a Short – and a Long-Term Solution // The Forestry Chronicle. 2005. Vol. 81, no. 5. Pp. 704–709.
13. *Beuker E., Koski V.* Adaptation of Tree Populations to Climate as Reflected by Ages Provenance Tests // Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995. Tampere, Finland, 1995. P. 248.
14. *Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerová D.* Adaptation to Common Optimum in Different Populations of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.) // European Journal of Forest Research. 2012. Vol. 131, iss. 2. Pp. 401–411.
15. *Kapeller S., Lexer M. J., Geburek T., Hiebl J., Schueler S.* Intraspecific Variation in Climate Response of Norway Spruce in the Eastern Alpine Range: Selecting Appropriate Provenances for Future Climate // Forest Ecology and Management. 2012. Vol. 271. Pp. 46–57.
16. *Mátyás Cs.* Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances // Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995. Tampere, Finland, 1995. P. 250.

17. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to Changing Environment in Scots Pine Populations across a Latitudinal Gradient // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, iss. 2. Pp. 129–140.

18. Persson B. Will Climate Change Affect the Optimal Choice of *Pinus sylvestris* Provenances? // *Silva Fennica*. 1998. Vol. 32, iss. 2. Pp. 121–128.

19. Savolainen O., Bokma F., Garcia-Gil R. Genetic Variation in Cessation of Growth and Frost Hardiness and Consequences for Adaptation of *Pinus sylvestris* to Climatic Changes // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 197, iss. 1–3. Pp. 79–89.

20. Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models // *Eurasian Journal of Forest Research*. 2003. Vol. 6, iss. 2. Pp. 83–98.

21. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. Beiträge zum Symp. “Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau”. Wien, 9 Nov., 1994. FBVA–Berichte, 1994. Bd. 81. S. 37–47.

22. Savanto S., Nöjd P., Henttonen H.M., Beuker E., Mäkinen H. Geographical Patterns in the Radial Growth Response of Norway Spruce Provenances to Climatic Variation // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2016. Vol. 222. Pp. 10–20.

23. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of Climate and Drought Events on the Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances // *Forest Ecology and Management*. 2013. Vol. 307. Pp. 30–42.

Поступила 05.04.18

UDC 582.475:551.583

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient

*E.N. Nakvasina*¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*N.A. Prozherina*², Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

*A.V. Chuprov*³, Postgraduate Student, Senior Specialist

*V.V. Belyaev*², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

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

²Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: pronad1@yandex.ru, beljaew29@mail.ru

³Ministry of Natural Resources and Forestry of Arkhangelsk Region, ul. Vyucheyskogo, 18, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: alexchuprov@mail.ru

The species reaction to the different climate change scenarios is simulated on the example of Scots pine offspring growing on provenance trials of the middle taiga subzone (Arkhangelsk region). Climatypes with different in the latitudinal gradient by 2–3° N locations of the original stands were selected. Pinega climatype (Arkhangelsk region, the northern taiga subzone) growing in the middle taiga subzone simulates climate warming. Totma climatype (Vologda region, the southern taiga subzone) simulates cooling. Plesetsk climatype (Arkhangelsk region, the middle taiga subzone) local for the test point is a comparative standard for preservation of adaptive features in the constant climate. Safety, growth and productivity of crops were studied. Safety reduction of Totma climatype is evident during the first years after planting. Safety reduction and then plantation differentiation of Plesetsk and Pinega

For citation: Nakvasina E.N., Prozherina N.A., Chuprov A.V., Belyaev V.V. Growth Response of Scots Pine to Climate Change in the Latitudinal Gradient. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 82–93. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.82

climatypes are extended and shifted. There is a growth processes leveling associated with changes in climatic characteristics of habitats by the end of the second age class. Pinega climatype maintains the inherited radial and linear stagnation from even-age pine local population at the test point by 13 % and 8 % respectively. Totma climatype is close to Plesetsk climatype in diameter, but outstrips it in height by 10 %. The trunk diameter distribution of the north taiga offspring of pine is significantly different from the middle and south taiga climatetypes. The corresponding indicators of initial planting habitats are calculated using the latitudinal growth coefficients proposed by I.V. Volosevich (1984) for crops of the same age. This allowed defining the indicators deviations under warming or cooling simulation. It was found that we can expect an increase in growth and productivity of Scots pine by 2–5 % with climate warming in boreal zone with an increase of air temperatures above 10 °C for each 100 °C of the effective temperatures sum. Changing of the growth indicators (diameter, height, trunk volume) with climate cooling (reduction of effective temperatures sum for each 100 °C) will be similar to the increase in temperature. Indicators will decrease 2–5 %. However, the reduced survival index of the south taiga offspring grown in severer climatic conditions (reduced safety during the first years after planting) can lead to a significant loss of productivity up to 15 % for each 100 °C of reduction of temperatures sum above 10 °C. The effect of the reaction can be mitigated by improving the forestry production quality.

Keywords: Scots pine, provenance trials, climatetypes, growth, productivity, climatic changes.

REFERENCES

1. Volosevich I.V. Zakonomernosti shirotnoy izmenchivosti rosta drevesnoy rastitel'nosti v lesakh Evropeyskogo Severa i ikh prakticheskoye ispol'zovani [Regularities of the Latitudinal Variability of Growth of Woody Vegetation in the Forests of the European North and Their Practical Use]. *Lesovodstvennyye issledovaniya na zonal'no-tipologicheskoy osnove* [Silvicultural Research on a Zonal and Typological Basis]. Arkhangel'sk, ArkhNIIiKH Publ., 1984, pp. 27–38. (In Russ.)
2. *Izucheniye imeyushchikhya i sozdaniye novykh geograficheskikh kul'tur: Programma i metodika rabot* [The Study of Existing and Creation of New Provenance Trials: a Program and a Working Procedure]. Ed. by E.P. Prokazin. Pushkino, VNIILM Publ., 1975. 52 p. (In Russ.)
3. Kurnayev S.F. *Lesorastitel'noye rayonirovaniye SSSR* [Forest Vegetation Zoning of the USSR]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 240 p. (In Russ.)
4. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po severo-vostoku evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii: normativnyye materialy dlya NAO, Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Respubliki Komi* [Forest Mensuration Reference Book of the Northeast of the European Part of the Russian Federation: Specifications and Guidelines for Nenets Autonomous Okrug, Arkhangel'sk and Vologda regions and the Komi Republic]. Ed. by G.S. Voynov, Arkhangel'sk, Pravda Severa Publ., 2012. 672 p. (In Russ.)
5. Nakvasina E.N. Geograficheskiye kul'tury sosny obyknovennoy (*Pinussylvestris* L.) kak prirodnyaya model' imitatsii klimaticheskikh izmeneniy [Provenance Trials of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) as a Natural Model of Simulation of Climate Change]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2003, iss. 2, vol. 4, pp. 48–53.
6. Nakvasina E.N. Izmeneniya v generativnoy sfere sosny obyknovennoy pri imitatsii potepleniya klimata [Changes in the Generative Sphere of Scots Pine under Simulation of Climate Warming]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2014, no. 209, pp. 114–125.
7. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Pokatilo A.V. Rostovaya i reproduktivnaya reaktsii *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) pri imitatsii potepleniya klimata [Growth and Reproductive Reactions of *Picea abies* (L.) Karst. × *P. obovata* (Ledeb.) under Simulation of Climate Warming]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2016, no. 1, pp. 89–96.

8. Nakvasina E.N., Yudina O.A., Prozherina N.A., Kamalova I.I., Minin N.S. *Geograficheskiye kul'tury v gen-ekologicheskikh issledovaniyakh na Evropeyskom Severe* [Provenance Trials in Geno-Ecological Researches in the European North]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 308 p. (In Russ.)
9. Petrov S.A. Geneticheskiye resursy lesoobrazuyushchikh vidov, puti ikh sozdaniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya [Genetic Resources of Forest Forming Types, Paths of Their Creation and Rational Use]. *Lesorazvedeniye i lesomelioratsiya: obzor. inform.* [Afforestation and Forest Melioration: Precip Articles], 1987, no. 1, 30 p.
10. Wright J. *Vvedeniye v lesnuyu genetiku* [Introduction to Forest Genetics]. Translated from English by A.F. Klyachko, L.YA. Polozovoy, L.P. Voyevodkinoy. Ed. by L.F. Pravdina, V.A. Budaragina, Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 470 p. (In Russ.)
11. Savva Yu.E., Vaganov E.A. Adaptatsiya sosny obyknovennoy k izmeneniyu klimaticheskikh usloviy [Adaptation of Scots Pine to Climate Change]. *Doklady Akademii nauk* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 2002, vol. 385, no. 1, pp. 135–138.
12. Beaulieu J., Rainville A. Adaptation to Climate Change: Genetic Variation is Both a Short- and a Long-Term Solution. *The Forestry Chronicle*, 2005, vol. 81, no. 5, pp. 704–709.
13. Beuker E., Koski V. Adaptation of Tree Populations to Climate as Reflected by Ages Provenance Tests. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995*. Tampere, Finland, 1995, p. 248.
14. Gömöry D., Longauer R., Hlásny T., Palacaj M., Strmeň S., Krajmerová D. Adaptation to Common Optimum in Different Populations of Norway Spruce (*Picea abies* Karst.). *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, iss. 2, pp. 401–411.
15. Kapeller S., Lexer M. J., Geburek T., Hiebl J., Schueler S. Intraspecific Variation in Climate Response of Norway Spruce in the Eastern Alpine Range: Selecting Appropriate Provenances for Future Climate. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 271, pp. 46–57.
16. Mátyás Cs. Modeling Effects of Climate Change with Provenance Test Data by Applying Ecological Distances. *Caring for the Forest: Research in a Changing World. Poster Abstracts. IUFRO XX World Congress, August 6–12, 1995*. Tampere, Finland, 1995, p. 250.
17. Oleksyn J., Tjoelker M.G., Reich P.B. Adaptation to Changing Environment in Scots Pine Populations across a Latitudinal Gradient. *Silva Fennica*, vol. 32, iss. 2, 1998, pp. 129–140.
18. Persson B. Will Climate Change Affect the Optimal Choice of *Pinus sylvestris* Provenances? *Silva Fennica*, 1998, vol. 32, iss. 2, pp. 121–128.
19. Savolainen O., Bokma F., Garcia-Gil R. Genetic Variation in Cessation of Growth and Frost Hardiness and Consequences for Adaptation of *Pinus sylvestris* to Climatic Changes. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 197, iss. 1-3, pp. 79–89.
20. Rehfeldt G.E., Tcebakova N.M., Milyutin L.I., Parfenova E.I., Wykoff W.R., Kouzmina N.A. Assessing Population Responses to Climate in *Pinus sylvestris* and *Larix* spp. of Eurasia with Climate-Transfer Models. *Eurasian Journal of Forest Research*, vol. 6, iss. 2, 2003, pp. 83–98.
21. Schultze U. Klimaänderung – neue Kriterien für Herkunftsempfehlungen. *Beiträge zum Symp. "Klimaänderung in Österreich – Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau"*. Wien, 9 Nov., 1994. FBVA – Berichte, 1994, Bd. 81, S. 37–47.
22. Suvanto S., Nöjd P., Henttonen H.M., Beuker E., Mäkinen H. Geographical Patterns in the Radial Growth Response of Norway Spruce Provenances to Climatic Variation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, vol. 222, pp. 10–20.
23. Taeger S., Zang C., Liesebach M., Schneck V., Menzel A. Impact of Climate and Drought Events on the Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenances. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 307, pp. 30–42.

Received on April 05, 2018

УДК 630*235.41

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.94

ПАСПОРТИЗАЦИЯ КАК СРЕДСТВО МОНИТОРИНГА ЦЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Ф.Н. Дружинин, д-р с.-х. наук, доц.

Ю.И. Макаров, канд. с.-х. наук, доц.

Д.М. Корякина, магистрант

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
ул. Панкратова, д. 9 а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия 160555;

e-mail: drujinin@mail.ru, yuriy.makarov.1991@mail.ru, koryakina.dary@yandex.ru

В ходе анализа научной и технической документации нами не обнаружено информации, которая бы позволяла систематизировать и обобщать сведения о динамических изменениях жизненного состояния древесных и кустарниковых растений. Эта информация крайне необходима для принятия своевременных хозяйственных мер, направленных на сохранение жизнеспособности растений, на выполнение зелеными насаждениями целевого назначения. Целью исследования являлась разработка технического документа (паспорта), позволяющего выявлять происходящие изменения среди особо ценных экземпляров древесной и кустарниковой растительности, комплексно оценивать их жизненное состояние, фиксировать и анализировать полученную информацию в рамках проведения биоэкологического мониторинга. На данный момент в Вологодской области не существует единого реестра ценных растений, который необходим для сохранения не только старовозрастных деревьев, но и исторически ценных посадок. Паспортизация позволит создать единый описательный документ, при помощи которого можно повысить уровень защиты деревьев и кустарников, своевременно планировать и выполнять мероприятия по уходу. В ходе комплексного исследования проведена сплошная инвентаризация древесной и кустарниковой растительности на территории Ильинского погоста (д. Цыпино). Зеленые насаждения по санитарному состоянию оценены как ослабленные, они сильно захламлены, но их декоративность достаточно высокая. В результате анализа ряда технических документов разработан паспорт на ценные древесные и кустарниковые растения. Первая часть этого документа включает описание и характеристику изучаемого растения, вторая часть отражает мероприятия по назначенным в ходе обследования уходам и информацию о мониторинговых наблюдениях. В ходе исследования выделено 30 деревьев, которые представлены старыми аллеями и солитерными посадками, составлены их паспорта.

Ключевые слова: городское хозяйство, инвентаризация, зеленые насаждения, ландшафтно-таксационная оценка, санитарное состояние, древесные и кустарниковые растения, деревья – памятники природы, паспорт.

Введение

Человек издавна окружает себя растениями, стремится быть ближе к природе. Аллеи и парки, создаваемые людьми в честь знаменательных дат и событий, имеют историческое значение. Зеленые насаждения являются

Для цитирования: Дружинин Ф.Н., Макаров Ю.И., Корякина Д.М. Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 94–104. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.94

летописцами истории. За последнее время многие исторические усадьбы утратили свой первоначальный облик, садово-парковое искусство таких мест потеряло свою ценность.

С 2010 г. реализуется уникальный проект – всероссийская программа «Деревья – памятники живой природы», создается национальный реестр деревьев. Эта программа рассматривает уникальные старовозрастные деревья, представляющие собой культурную, историческую и природную ценность для Российской Федерации [2]. Неравнодушные люди подают заявки (анкеты) о включении старовозрастных деревьев в этот реестр. В настоящее время на рассмотрении находится 665 заявок, в национальном реестре числится около 380 деревьев, из которых 152 деревьям решением сертификационной комиссии программы присвоен статус «Дерево – памятник живой природы». Однако дальнейшие шаги по их сохранению (после их выделения и присвоения статуса) не предусмотрены.

Ведение городского хозяйства в сфере озеленения и благоустройства городов нашей страны опирается на Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации [8]. Основные локальные нормативно-правовые акты, которыми пользуются работники отделов озеленения и благоустройства городских администраций (Правила создания, содержания и охраны зеленого фонда и Правила благоустройства территории) [4, 8], регулируют отношения по созданию, содержанию и охране зеленого фонда городов и поселков и разработаны в целях его сохранения и развития, создания благоприятной окружающей среды, нормализации экологической обстановки, улучшения внешнего облика городов [4]. Каждые 5 лет выполняются осмотр и оценка состояния насаждений. Методической основой для проведения этих работ являются пособие «Оценка жизнеспособности деревьев и правила их отбора и назначения к вырубке и пересадке»; справочные таблицы, составленные отделом научно-технической информации Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова; Типовые технологические карты ухода за городскими насаждениями [3, 9]. При инвентаризации зеленых насаждений учитывается их состояние в целом. При этом учет осуществляется по отдельным деревьям без их фиксации, что в последующем затрудняет определение происходящих изменений, принятие своевременных и обоснованных решений по уходу как за отдельными деревьями, так и за насаждениями в целом. Работа по фиксации происходящих изменений должна осуществляться хотя бы в отношении особо ценных растений.

В ходе анализа научной и технической документации по этому вопросу нами не обнаружено информации, с помощью которой можно было бы систематизировать сведения о динамических изменениях жизненного состояния древесных и кустарниковых растений. Эта информация крайне необходима для принятия своевременных решений по назначению хозяйственных мероприятий, направленных не только на сохранение жизнеспособности растений, но и на выполнение ими целевого назначения.

Цель исследования – разработка технического документа (паспорта), который позволил бы выявлять происходящие изменения среди особо ценных экземпляров древесных и кустарниковых растений, комплексно оценивать их жизненное состояние, фиксировать и анализировать полученную информацию в рамках проведения биоэкологического мониторинга.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

изучить нормативно-правовые акты и техническую документацию с последующим их анализом;

осуществить ландшафтно-таксационную оценку зеленых насаждений на объекте культурного и исторического значения, расположенном на территории Ильинского погоста (д. Цыпино, Кирилловский р-н Вологодской области);

разработать паспорта ценных древесных и кустарниковых растений.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись зеленые насаждения на территории Ильинского погоста, расположенного на северо-восточном берегу оз. Ильинское, у истока р. Каменка, в Кирилловском районе Вологодской области. В прошлом там была усадьба священнослужителей Бриллиантовых, перенесенная позднее в г. Кириллов. В настоящее время сохранились церковь Ильи Пророка (1755 г.), Ильинский погост и посадки деревьев, заложенные еще семьей священника: еловая аллея с северо-восточной стороны села – «Ольгина роща»; старая липовая аллея, возраст деревьев которой около 100 лет; березовая аллея [1].

В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в пределах Белозерско-Кирилловских гряд. Наивысшая точка рельефа – морено-напорный холм Цыпиной горы с абсолютной отметкой 204,9 м. По рельефу – это мелко- и среднехолмистая возвышенная равнина. По вершинам и склонам приозерных холмов образовывались жилые территории. Первоначально наиболее освоенными оказались места с уникальным микроклиматом вокруг Цыпиной горы.

Естественные (вторичные) леса здесь представлены лиственными породами (осина, береза, ольха, ивы), закустаренными пространствами. Всего на этой территории встречается более 200 видов растений. Основная доля рукотворных лесопосадок расположена на территории д. Цыпино (Ильинский погост).

В ходе комплексного исследования проведена сплошная инвентаризация древесной и кустарниковой растительности на площади 16 га. При выполнении лесоучетных работ фиксировались видовой состав (представленность), диаметр ствола, высота растения, диаметр кроны, высота штамба. В основе оценки санитарного состояния зеленых насаждений лежало отнесение составляющих его деревьев и кустарников к той или иной категории жизненного состояния [3, 5]. При инвентаризации условно, в зависимости от происхождения насаждений и схемы рассматриваемой территории, выделено 16 ландшафтно-таксационных выделов (рис. 1, 2), а также учтены все деревья и кустарники, растущие вблизи церкви и кладбища, т. е. имеющие рукотворное происхождение.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной древесной породой на выделенных участках является ольха серая. Ее долевого участие по 7 выделам составляет до 10 ед. Произрастает эта порода на заброшенных сельскохозяйственных угодьях (выдела 1–3) и в прибрежной полосе озера (выдела 6–9). По структуре насаждения естественного происхождения – простые, состоящие из 1 яруса. Под их пологом имеется еловый подрост. Это средневозрастные насаждения. В большинстве случаев их возраст не превышает 30 лет. Относительная полнота – 0,50.



Рис. 1. Схема рассматриваемой территории

Fig. 1. Scheme of the explored territory

Все насаждения характеризуются высокими классами бонитета, за исключением ландшафтно-таксационных выделов 1, 2, 8, 9. Породный состав представлен 19 видами, в том числе 12 видов древесной и 7 видов кустарниковой растительности (см. таблицу).

По лесорастительным условиям территория характеризуется зеленомошной (кисличные) и приручейно-крупнотравной группами типов условий местопроизрастания. Основной фон в живом напочвенном покрове составляют кислица обыкновенная, крапива двудомная, таволга вязолистная и луговое разнотравье.

Территория, особенно в насаждениях естественного происхождения, сильно захламлена, учтено большое количество ветровальных деревьев. Кроме того, подлесочные породы (рябина, рябинник, черемуха и др.) затрудняют проходимость, снижают эстетическую привлекательность и просматриваемость.

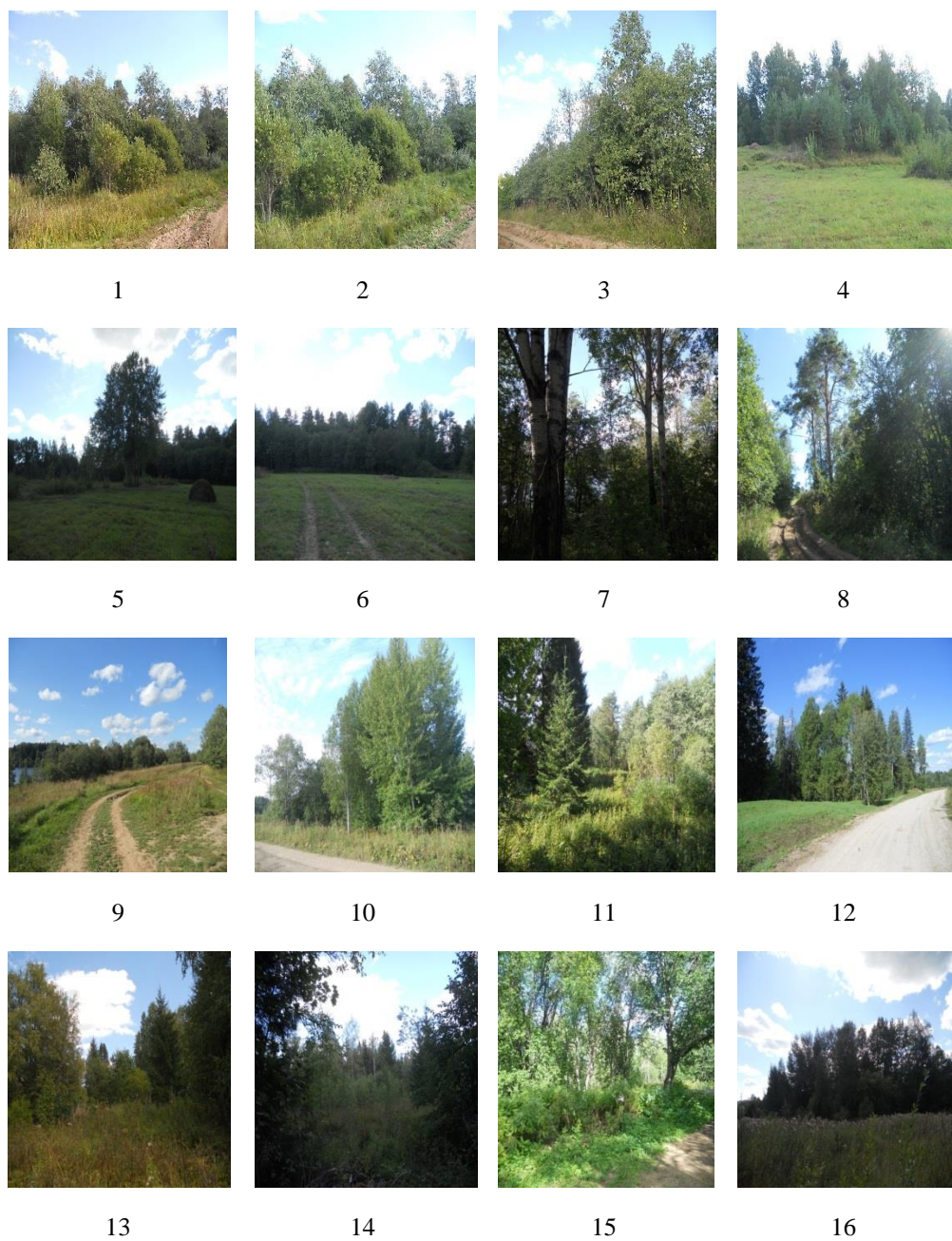


Рис. 2. Фотофиксация ландшафтно-таксационных выделов 1–16 на исследуемой территории

Fig. 2. Photographic images of the landscape and valuation plots 1–16 of the explored territory

Ландшафтно-таксационная характеристика зеленых насаждений

Выдел	Средние по выделам				Количество, экз.			Полнота	Бонитет	Запас, м³
	Состав	Возраст, лет	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	Высота, м	стволов	подроста				
1	7Ол₂2Ив1Б 6Ол₂2Ив1Ч1Б + Р6	20 6	19,5 –	8,5 3,5	98 –	– 132	0,4	III	5	
2	10Ол₂ ед. Е 8Ол₂1Рₙ1Ч + Р6, Ив	20 5	19,8 –	9,0 4,0	10 –	132 –	0,3	III	1	
3	10Ол₂ 10Ол₂ + Ч, Рₙ ед. Я, К	15 5	16,5 –	8,0 3,0	9 –	– 79	0,3	II	1	
4	8С2Ив 10Ос ед. Б	15 35	10,0 31,0	3,8 21,7	– 10	200 –	0,3	II	–	
5	10Ив 4Ол₂1Б1Ос1Ив1Р62С	2 30	– 18,0	– 16,0	– 99	– –	0,3	I ^а	8	
6	10Ол₂ ед. Р6 + Ж, Ч, Ив 7Ол₂1Ив1Б1Р6 + Ос ед. Е	12 30	– 18,0	4,5 17,5	– 118	530 –	0,5	I	90	
7	5Ол₂2Ч2Ив1Р6 8Ол₂1Р61Ив + Б ед. С, Я	12 25	– 13,5	4,0 8,5	– 148	223 –	0,5	I	35	
8	10Ол₂ + Р6 5Ол₂3Ив1Р61Б ед. Ч, Лп, Я, С, Е	15 20	– 12,2	4,5 9,0	– 781	160 –	0,4	IV	12	
9	8Т1Б1Ол + Ив 9Т1Ив ед. Ч	25 6	29,2 –	18,0 4,5	50 –	– 178	0,3	III	25	
10	7Р63Ол₂ ед. Ив, Е 10Р6	18 5	18,0 –	12,0 3,0	34 –	– 125	0,2	I	6	
11	6Ос4Е 4Ив2Кл1Е1Ос1Лп + Б ед. Я	35 20	27,7 20,0	17,5 12,0	37 99	– –	0,6	I ^а	16	
12	3Р61Ив1Ч1Ол₂1Е1Ос1Б1Лп + Кл ед. Рₙ, В 3Е3Ос2Б1Лп1Ив	10 70	– 26,0	3,5 22,0	– 215	218 –	0,4	I	40	
13	4Ос2Кл2Р61Ч1Е + Т, Ив, Лп ед. Б, В 3Ос2Ив1Б1Е1Лп1Кл ед. Т, С, Лп, Я	9 35	– 18,0	5,0 16,0	– 94	946 –	0,5	I	170	
14	7Рₙ1Ч1Ос1Ив + Кл ед. Р6Со, Лп, В 8Т2Б ед. Е	10 20	– 21,0	4,0 16,5	– 70	280 –	0,4	II	23	
15	8Т1Ив1Р6 ед. Е	5	–	3,0	–	186	0,5	I ^б	20	

Примечание: Ол₂ – ольха серая (*Alnus incana*); Ив – ива козья и пятичленная (*Salix caprea*); Б – береза повислая (*Betula pendula*); Рₙ – роза морщинистая (*Rosa rugosa*); Ч – черемуха обыкновенная (*Rubus radus*); Р6 – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*); Я – яблоня лесная (*Malus sylvestris*); К – калина обыкновенная (*Viburnum opulus*); Ос – осина обыкновенная (*Populus tremula*); С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*); Е – ель обыкновенная (*Picea abies*); Ж – жимолость татарская (*Lonicera tatarica*); Лп – липа мелколистная (*Tilia cordata*); Т – тополь бальзамический (*Populus balsamifera*); В – вяз шершавый (*Ulmus glabra*); Кл – клен остролистный (*Acer platanoides*); Рₙ – рябинник рябинолистный (*Sorbaria sorbifolia*); Со – сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*); Лп – лиственница сибирская (*Larix sibirica*).

Зеленые насаждения на территории, прилегающей к церкви и кладбищу, имеют определенную историческую ценность. Видовой состав представлен следующими породами: ель обыкновенная в аллеиных посадках; липа мелколистная, произрастающая в рядовых посадках вблизи церкви Ильи Пророка и в групповых посадках на кладбище; солитерные посадки кедра сибирского и лиственницы сибирской, клена остролистного, вяза шершавого и дуба черешчатого. Доля этих растений в общей совокупности зеленых насаждений составляет около 20 %.

В ходе подеревной обработки по всем ландшафтно-таксационным выделам установлено следующее. Среди обследованных видов растений 1-м классом высоты (50 % от общего количества) характеризуются сосна обыкновенная, ель европейская, кедр сибирский, лиственница сибирская, береза повислая, осина обыкновенная, липа мелколистная и тополь бальзамический. Максимальное значение среднего диаметра определено у лиственницы сибирской. Клен остролистный имеет наименьшее значение этого показателя (14,2 см). Среди древесных пород наибольшей очищаемостью стволов от сучьев отличается сосна обыкновенная.

При оценке древесной и кустарниковой растительности по санитарному состоянию большая часть (82...100 % от общего количества) отнесена к первым категориям (I–III). Выявлено 16 разновидностей повреждений. Наиболее распространены механические воздействия, многоствольность и многовершинность. В целом зеленые насаждения по санитарному состоянию оценены как ослабленные. При этом их декоративность достаточно высокая и характеризуется в доминирующем большинстве III–IV классами.

По результатам биоэкологического мониторинга выявлены древесные и кустарниковые растения, нуждающиеся в уходе. Среди нужных мероприятий основным является уход за кронами растений, заключающийся в удалении сухих сучьев и формировании кроны. В наибольшей степени в уходе нуждаются сосна обыкновенная, береза повислая и липа мелколистная. В общей сложности по результатам инвентаризационных работ к уходам запланировано 137 экземпляров, что составляет 36 % от общего числа индивидуально учтенных растений.

Методические подходы к паспортизации

Нами предложен паспорт для оценки ценных древесных и кустарниковых растений, который разработан на основе паспортов лесосеменной (маточной) плантации и плюсовых деревьев [7], а также материалов натурального обследования. Этот подход позволит не только производить инвентаризацию зеленых насаждений, но и выявлять особо ценные экземпляры, а в последующем осуществлять мониторинговые наблюдения, способствовать сохранению и предотвращению исчезновения как биологически, так и исторически ценных деревьев.

Пример заполнения паспорта для лиственницы сибирской с инвентарным номером 325 приведен на рис. 3.

Для оформления *первой части* паспорта (описание и характеристика) выполняется методическая оценка: в камеральных условиях устанавливаются наименование субъекта Российской Федерации, инвентарный номер оцениваемого дерева (в соответствии с дендрологическим планом), прорабатываются литературные источники. Все остальные параметры уточняются в ходе полевых работ [6]. Местонахождение дерева, высотная отметка, возраст, таксационный диаметр, высота, протяженность и средний диаметр кроны определяются инструментально, остальные параметры – глазомерно. По наличию

ПАСПОРТ ДЕРЕВА № 325 (по плану)

СУБЪЕКТ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ: Вологодская область,
Кирilloвский район, с. Феропонтово
ВИДОВОЕ НАЗВАНИЕ
Лиственница сибирская (*Larix sibirica*)
МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ДЕРЕВА
(географические координаты)
N 59°56.479'; E 038°33.555'
ПОЧВА И ПОЧВООБРАЗУЮЩАЯ
ПОРОДА
Дерново-подзолистая
РЕЛЬЕФ: Равнинный
ВЫСОТНАЯ ОТМЕТКА:
447 м над уровнем моря



ХАРАКТЕРИСТИКА:

1. Происхождение: искусственное (семенное)
2. Морфологическая форма:
- характер строения коры: толстая, глубокоборозчатая;
- форма кроны: ширококранная
3. Возраст: 180 лет
4. Высота: 25,2 м
5. Таксационный диаметр: 86,0 см
6. Класс роста и развития: III (прирост менее 10 см)
7. Параметры кроны и ее симметричность
- средний диаметр кроны: 16,3 м
- симметричность: несимметричная
8. Протяженность кроны: 22,2 м, от Н ствола: 88,0%
9. Густота облиствления: среднее
10. Толщина скелетных ветвей: толстые (более 5 см)
11. Протяженность бесчучковой зоны ствола: 3,0 м; от Н ствола: 12,0%
12. Зарастание отмерших сучьев: хорошее
13. Форма ствола (прямизна): прямой
14. Прирост в высоту по глазомерной оценке: низкий
15. Санитарное состояние дерева: 1
16. Сведения о цветении и семенности: 1 балл по шкале Каппера

МЕРОПРИЯТИЯ ПО УХОДУ

№ п/п	Наименование предлагаемых мероприятий
1	Огораживание
2	Уход за кроной: санитарная обрезка (удаление 15 сухих и скелетных ветвей)

ЖУРНАЛ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Год наблюдения	Оценка урожая по фазам, балл/дата наблюдения			Фрагментский урожай шишек (плодов), семян, кг	Повреждения дерева (метеорологические, механические, фитопатологические)	Запись произвел (должность, фамилия, подпись)
	Массового цветения	Массового об-разования за-ветвей	Начала созре-вания			

Примечание: для детального обследования дополнительно проводятся фенологические наблюдения (фиксируется дата, фаза развития, результаты)

Набухание почек – Разрыхление чешуй в верхней части почек и отгибание их концов
Распускание почек – Разрыв (сверху, сбоку) тонкого чешуйчатого колпачка, покрывающего пучок молодых хвонок или листочков (впоследствии эти колпачки опадают)
Развертывание листьев – Хвонок (листочки) в плотных пучках, вышедших из почек начинают отделяться друг от друга. Они короче, по цвету светлее зрелой хвои (листья)
Полное облиствление – Новая хвоя (листья) достигает половины длины старой
Рост побегов: начало роста – Верхушка побега прощупывается пальцами в пучке;
окончание роста – Длина побегов не увеличивается по результатам трех измерений через один день после заложения верхушечной почки
Вторичный рост – Отмечают начало, окончание и причины вызвавшие его. Измеряют величину прироста.
Цветение: начало цветения – При потрехивании ветвей с мужскими генеративными органами образуется пыльное облачко. Женские генеративные органы достигают присущих им размеров и приобретают окраску темно-красную, желтовато-зеленую, зеленую;
окончание цветения – Мужские генеративные органы закончили пыление, сжалась, усохли.
Созревание семян – Шишки, плоды достигают полных размеров и приобретают присущую им окраску.
м.п. – механические повреждения; с – суховершинность; м – морозобойные трещины; с.с. – сухие сучья; о.к. – однобокая крона; м.с. – многоствольность; д.с. – двухствольность; т.с. – табачные сучья; н.с. – наклон (искривление) ствола; э.в. – энтоморедители; ф.в. – фитовредители; и.к. – изреженная крона; г. – гнили, сух. – сухостой; д.в. – двухвершинность; м.в. – многовершинность; и.т. – инородное тело; п. – пророст; сухоб. – сухобокость.

Рис. 3. Паспорт особо ценного дерева лиственницы сибирской (инвентаризационный номер 325)

Fig. 3. Certificate of a high value tree – Siberian larch (inventory number 325)

хвои/листья устанавливается густота облиствления, по имеющимся литературным данным – происхождение, в соответствии с Правилами санитарной безопасности в лесах [6, 10] – санитарное состояние. Оценка цветения и плодоношения выполняется по шкале Каппера.

Вторая часть паспорта включает описание назначаемых на основании детального обследования мероприятий по уходу, содержит информацию о получаемых в ходе динамических наблюдений сведениях, отражаемых в специальном журнале. Мероприятия назначаются в зависимости от зафиксированных повреждений. При наличии сухих ветвей в кроне, несформированной кроны рекомендуется санитарная и формирующая обрезка. Если у растения выявлено наличие дупел, трещин, ран или других повреждений, то назначаются уходы за стволом. При наличии поросли, сорной растительности, уплотнения почвы планируется уход в приствольном круге. В случае поражения деревьев каким-либо заболеванием/вредителем проводятся мероприятия по их оздоровлению. Если на растения влияет окружающая среда (сточные воды, вытаптывание животными/людьми), необходимы агротехнические уходы (внесение удобрений, рыхление почвы, огораживание приствольного круга, устройство мощения и др.).

В журнале мониторинговых наблюдений отражаются данные о дате обследования, основные метрические параметры растения (высота, диаметр), информация о санитарном состоянии, фенологические даты.

На основании изучения архивных и фондовых материалов, научной и технической документации, а также детального дендрологического обследования на рассматриваемой территории произведена паспортизация ценных деревьев следующих пород: ель обыкновенная, лиственница сибирская, кедр сибирский, липа мелколистная, яблоня. Указанные виды древесных пород представляют не только исторический интерес, так как связаны с жизнью семьи Бриллиантовых, но и являются нехарактерной для Вологодской области флорой, за исключением ели обыкновенной. При этом ценных кустарников нами не выявлено.

По результатам исследования составлено 30 паспортов: 23 – на ель обыкновенную, 3 – на липу мелколистную, 2 – на лиственницу сибирскую, 1 – на кедр сибирский, 1 – на яблоню. Эти деревья имеют искусственное, семенное происхождение и представлены старыми аллеями и солитерными посадками.

Большинство экземпляров, выделенных и отнесенных к ценным древесным растениям, характеризуются 2-м классом роста и развития, так как имеют прирост более 10 см. Густота облиствения (охлаждения) – средняя, толщина скелетных ветвей в средней части кроны – более 5 см (толстые). Прирост в высоту по глазомерной оценке оценен нами как стабильный, санитарное состояние обследованных деревьев не вызывает опасений и характеризуется I–III классом. Цветение и плодоношение по шкале Каппера – 1–4 балла.

Заключение

В результате исследования проведен мониторинг ценных древесных и кустарниковых растений, что позволило создать документ (паспорт), при помощи которого можно планировать, системно и своевременно выполнять необходимые мероприятия по уходу, направленные на сохранение растений.

Так, зеленые насаждения на территории Ильинского погоста по санитарному состоянию оценены как ослабленные, они сильно захламлены кустарниковой растительностью, однако их декоративность достаточно высокая. По результатам инвентаризационной оценки установлена необходимость в проведении лесохозяйственных мероприятий по благоустройству этой территории.

Для сохранения и улучшения санитарного состояния зеленых насаждений потребуется выполнение комплекса мер, включающих ликвидацию захламленности; назначение и выполнение выборочных санитарных рубок интенсивностью до 50 % по числу стволов (в первую очередь подлежат удалению ивы и деревья ольхи III и ниже классов санитарной оценки); специализированный уход за зелеными насаждениями (удаление на всей площади подроста и подлеска, за исключением сосны обыкновенной, ели обыкновенной, клена остролистного, вяза шершавого, липы мелколистной, калины обыкновенной, яблони лесной).

Для распространения полученного опыта и широкого применения разработанного паспорта ценных древесных и кустарниковых растений требуется апробация предлагаемого подхода не только в рассматриваемом регионе, но и в других регионах страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березина Н.А., Вахрамеева М.Г. Ботанические экскурсии в окрестностях Ферапонтова. М.: Теза, 1998. 108 с.
2. Всероссийская программа «Деревья – памятники живой природы». Режим доступа: <http://rosdrevo.ru/> (дата обращения: 25.12.2017).

3. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. М.: Акад. коммун. хоз-ва им. К.Д. Памфилова, 1997. 15 с.
4. О Правилах благоустройства города Вологды: решение Вологодской городской думы от 02 апр. 2007 г. № 392. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/438923742> (дата обращения: 15.01.2018).
5. О Правилах санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ от 20 мая 2017 г. № 607. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (дата обращения: 10.01.2018).
6. Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов: приказ Рослесхоза от 10 нояб. 2011 г. № 472 (ред. от 07.05.2013). Режим доступа: http://arsen-vl.narod.ru/olderfiles/1/prikaz_Rosleshoza_472.pdf (дата обращения: 08.01.2018).
7. ОСТ 56-74-96. Плантации лесосеменные основных лесобразующих пород. Основные требования. М.: Тип. № 9 Ком. по печати РФ, 1996. 25 с.
8. Правила создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации: приказ Госстроя РФ от 15 дек. 1999 г. № 153. Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-gosstroja-rf-ot-15121999-n-153/> (дата обращения: 16.01.2018).
9. Типовые технологические карты по содержанию городских зеленых насаждений: утв. Минжилкомхозом РСФСР 04.08.82. М.: Стройиздат, 1986. 515 с.
10. *Травникова Г.И.* Основы лесопаркового хозяйства: метод. указания по проведению учебной практики и сбору дипломного материала. Архангельск: АГТУ, 2003. 12 с.

Поступила 06.03.18

UDC 630*235.41

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.94

Certification as a Means of Monitoring of the Most Valuable Arboreal Plants and Shrubs

F.N. Druzhinin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Yu.I. Makarov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

D.M. Koryakina, Master Degree Student

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, korp. 7, Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: drujinin@mail.ru, yuriy.makarov.1991@mail.ru, koryakina.dary@yandex.ru

We have not found any information that would allow us to systematize the data about the dynamic changes of vital states of arboreal plants and shrubs during the analysis of scientific and technical documentation. This is essential for timely economic measures aimed at plants viability preservation and green plantations efficiency. The purpose of the study was the development of a technical document (certificate) that would allow identifying the changes of the most valuable specimen of arboreal plants and shrubs, comprehensively assessing their vital state, recording and analyzing the obtained information in the framework of bioecological monitoring. At the moment there is no single register of valuable plants in Vologda region, which is necessary to preserve not only old-aged trees, but also historically valuable plantings. Certification will allow creating a united descriptive document which will make it possible to increase the level of preservation of trees and shrubs, well-timed plan and carry out the carry measures. A complete inventory of tree and shrub vegetation of the Ilyinsky Pogost territory (Tsypino village) was carried out as a part of the complex study. Green plantings health status is estimated as weak and debris-strewn, however,

For citation: Druzhinin F.N., Makarov Yu.I., Koryakina D.M. Certification as a Means of Monitoring of the Most Valuable Arboreal Plants and Shrubs. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 94–104. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.94

the decorative value of these plantations is high enough. A certificate for valuable tree and shrub vegetation was developed during the analysis of a set of technical documents. The first part of this document includes description and characteristics of the plant under study. The second part displays care measures assigned during the plant inspection and information on the monitoring observations. 30 trees were chosen in the study. There are old alley cropping and single plantings. All of them were certified.

Keywords: municipal services and facilities, inventory, green areas, landscape and inventory assessment, plant health status, arboreal plants and shrubs, trees are the monuments of nature, certificate.

REFERENCES

1. Berezina N.A., Vakhrameyeva M.G. *Botanicheskiye ekskursii v okrestnostyakh Ferapontova* [Botanical Excursions in Vicinity of Ferapontovo]. Moscow, Teza Publ., 1998. 108 p. (In Russ.)
2. *Vserossiyskaya programma "Derev'ya – pamyatniki zhivoy prirody"* [Russian National Program "Trees are the monuments of nature"]. Avalibale at: <http://rosdrevo.ru/> (accessed 25.12.2017).
3. *Metodika inventarizatsii gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Methodology for Inventorying Urban Green Areas]. Moscow, Akad. kommun. khoz-va im. K.D. Pamfilova Publ., 1997. 15 p.
4. *O Pravilakh blagoustroystva goroda Vologdy: resheniye Vologodskoy gorodskoy dumy ot 02 apr. 2007 g. № 392* [The Decision of Vologda City Parliament "On the Regulations of the City of Vologda Improvement", April 02, 2007, no. 472]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/438923742> (accessed 15.01.2018).
5. *O Pravilakh sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: postanovleniye Pravitel'stva RF ot 20 maya 2017 g. № 607* [The Russian Federation Government Regulation "On the Sanitary Safety Rules in Forests", May 20, 2017, no. 607]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (accessed 10.01.2018).
6. *Ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po provedeniyu gosudarstvennoy inventarizatsii lesov: prikaz Rosleskhoza ot 10 noyab. 2011 g. № 472* (red. ot 07.05.2013) [Order of the Federal Agency of Forestry (Rosleskhoz) "On Approval of Methodological Recommendations for State Forest Inventory", November 10, 2011, no. 472 (as amended on 07.05.2013)]. Available at: http://arsen-vl.narod.ru/olderfiles/1/prikaz_Rosleshoza_472.pdf (accessed 08.01.2018).
7. *OST 56-74-96. Plantatsii Lesosemennyye osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod. Osnovnyye trebovaniya* [OST (Industry-Specific Standard) 56-74-96. Forest Seed Plantations of the Main Forest-Forming Species. Basic Requirements]. Moscow, Tip. № 9 Kom. po pečati RF Publ., 1996. 25 p.
8. *Pravila sozdaniya, okhrany i sodержaniya zelenykh nasazhdeniy v gorodakh Rossiyskoy Federatsii: prikaz Gosstroya RF ot 15 dek. 1999 g. № 153* [Order of Gosstroy of the Russian Federation, "The Rules of Creation, Preservation and Management of Green Areas in the Cities of the Russian Federation", December 15, 1999, no. 153]. Available at: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-gosstroja-rf-ot-15121999-n-153/> (accessed 16.01.2018).
9. *Tipovyye tekhnologicheskiye karty po sodержaniyu gorodskikh zelenykh nasazhdeniy: utv. Minzhilkomkhozom RSFSR 04.08.82* [Standard Typical Technological Maps for the Management of Urban Green Areas]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 515 p.
10. Travnikova G.I. *Osnovy lesoparkovogo khozyaystva: metod. ukazaniya po provedeniyu uchebnoy praktiki i sboru diplomnogo materiala* [Fundamentals of Aesthetic Forestry: Guidelines for Internship and Research Samples Collection for Thesis]. Arkhangel'sk, ASTU Publ., 2003. 12 p. (In Russ.).

Received on March 06, 2018

УДК 631.524:582.71

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.105

РОСТ И ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ ШИПОВНИКОВ (*Rosa L.*) В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Семенютина, д-р с.-х. наук, проф.

А.С. Соломенцева, мл. науч. сотр.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, просп. Университетский, д. 97, г. Волгоград, Россия, 400062; e-mail: alexis2425@mail.ru

Изучение процессов роста и фенологического развития имеет важное значение в теории и практике выращивания растений в условиях интродукции. Исследования проводили в Волгоградской области в 2008–2016 гг. Климат района – аридный, резко континентальный, характеризуется продолжительным солнечным сухим жарким летом, солнечной длительной осенью, недостатком осадков, резкими колебаниями температуры зимой, что лимитирует рост и развитие растений. Объекты исследования – растения шиповников (возраст 8–17 лет) разного географического происхождения: *Rosa rugosa* – шиповник морщинистый, *R. cinnamomea* – коричный, *R. beggeriana* – Беггера, *R. acicularis* – иглистый, *R. ecae* – Эки, *R. pomifera* – яблочный, *R. spinosissima* – колючейший, *R. canina* – обыкновенный. Количество растений каждого вида не менее 25 шт. Установлено, что климатические условия Волгоградской области благоприятны для шиповников из Северной Америки, Японии, Китая, Средней Азии. В новых экологических условиях для прохождения каждой фазы сезонного развития им необходима та же сумма температур, которая обеспечивает их нормальный рост на родине. Все изученные виды в благоприятные в гидротермическом отношении годы обильно цветут и плодоносят. Раннее цветение (конец апреля) в условиях Волгограда наблюдалось у шиповника Эки, естественный ареал которого горы Средней Азии. В первой декаде мая зацветают шиповники коричный и Беггера, к позднецветущим (конец мая–июнь) относятся иглистый, яблочный. Длительность цветения у исследуемых видов зависит от их географического происхождения и погодных условий вегетационного периода, который у большинства из них продолжается 27–45 дн. Шиповник морщинистый цветет с конца июня и до морозов, являясь прекрасным декоративным растением для партерных посадок. Установлено, что прохождение фенологических фаз у шиповников обычно сопряжено с динамикой тепловых ресурсов района произрастания и сезонными колебаниями среднесуточной температуры воздуха. В засушливых условиях при хорошей освещенности интенсивно формируется габитус растений. В условиях интродукции исследуемых видов в Волгоградскую область зафиксированная дифференциация разделила шиповники по высоте на три группы: I – 2...3 м; II – 1...2 м; III – до 1 м. Установлено, что шиповник иглистый относится ко II группе, коричный, Беггера и яблочный – к I группе. Самыми низкорослыми кустарниками являются шиповники морщинистый и Эки. В условиях светло-каштановых почв района исследования они достигают 0,6...0,7 м в 15-летнем возрасте. При значительной сухости воздуха и почвы, высокой интенсивности солнечного освещения шиповники наиболее активно растут в молодом возрасте, особенно при орошении в питомнике.

Ключевые слова: шиповники *Rosa L.*, рост, фенологическое развитие, лесомелиорация, озеленение, интродукция, кустарники, факторы среды.

Для цитирования: Семенютина А.В., Соломенцева А.С. Рост и фенологическое развитие интродуцированных видов шиповников (*Rosa L.*) в условиях Волгоградской области // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 105–115. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.105

Введение

Изучение процессов роста и фенологического развития имеет важное значение в теории и практике выращивания растений в условиях интродукции [11, 20]. Существование растительного организма возможно в определенных границах толерантности, которые ограничены зонами минимума и максимума относительно определенного фактора [21]. Для малолесных регионов (Волгоградская область) в защитном лесоразведении и озеленении деградированных ландшафтов актуальным является расширение ассортимента кустарников. Научный интерес представляют виды многоцелевого назначения (лесомелиоративные, декоративные, энтомофильные и др.) [1, 18].

Шиповники (*Rosa* L.) относятся к семейству Rosaceae, распространены в умеренной и субтропической зонах северного полушария: на севере – до полярного круга, на юге – до Северной Африки, Абиссинии, севера Аравийского п-ва, южной части Ирана, Афганистана, по р. Инд и далее на восток до Филиппинских островов, Северной Америки и Северной Мексики. Число видов в роде около 400, число садовых форм и сортов – до 10 тыс. [12, 13], возможность широкого распространения этого семейства обеспечила его значительное видовое разнообразие [16, 17]. В Волгоградской области естественно произрастают такие дикорастущие виды шиповников, как *R. cinnatomea*, *R. canina* и *R. corymbifera*. Интродукция шиповников началась с 1939 г. (г. Камышин) и с 1962 г. (г. Волгоград).

Хорошо известно, что если водный дефицит, влияющий на рост растения, достаточно велик, то это может привести к его гибели. Засухоустойчивые растения более стабильны, у них происходят меньшие изменения веществ, обладающих высокой степенью гидрофильности [3]. Виды шиповников отличаются высокой степенью засухоустойчивости, средней и малой требовательностью к почвам, являясь типичными мезофитами и ксеромезофитами [19]. Требования растений к температурным условиям определяются их наследственностью и происхождением [10, 23]. По устойчивости к температурному минимуму и максимуму их делят на экологические типы (табл. 1) [14].

Таблица 1

**Устойчивость шиповников к минимальным
и максимальным температурам воздуха в естественном ареале
и агролесомелиоративных районах интродукции**

Название шиповника		Амплитуда температур, °С			Отношение к температуре воздуха **
русское	латинское	I*	II	III	
Роза Беггера	<i>Rosa beggeriana</i> Schrenk.				МК/МЗ
Р. колючейшая	<i>R. spinosissima</i> L.				МК
Р. коричная	<i>R. cinnatomea</i> L.				МК
Р. морщинистая	<i>R. rugosa</i> Thunb.	–35	–35	–35	МК
Р. собачья	<i>R. canina</i> L.	+40	+41	+44	МК
Р. Эки	<i>R. ecae</i> Aitch.				МК
Р. яблочная	<i>R. pomifera</i> Herrm.				МК
Р. иглистая	<i>R. acicularis</i> Lindl.				ГК/МК

*Агролесомелиоративные районы: I – Волго-Донской, II – Ергенинско-Сарпинский, III – Волго-Уральский.

**МЗ – мезотермы (растения субтропической зоны, 30...42° с. ш.); МК – микротермы (растения холодной зоны, 42...60° с. ш.); ГК – гекистотермы (растения полярной зоны, 60...80° с. ш.).

Высокая декоративность делает виды шиповников весьма привлекательными растениями для озеленения, однако процессы роста и сезонного развития шиповников в Волгоградской области изучены недостаточно.

Цель данной работы – выявление особенностей роста и фенологического развития видов шиповников (*Rosa* L.) под влиянием основных климатических факторов в условиях светло-каштановых почв в зависимости от возраста и условий произрастания.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на территории производственного питомника Федерального научного центра (ФНЦ) агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН. Объектами исследований являлись представители родового комплекса *Rosa* L. различного географического происхождения: *R. rugosa* – шиповник морщинистый, *R. cinnamomea* – коричный, *R. beggeriana* – Беггера, *R. acicularis* – иглистый, *R. ecae* – Эки, *R. pomifera* – яблочный, *R. spinosissima* – колючейший, *R. canina* – обыкновенный, которые относятся к азиатским, европейским, дальневосточным и североамериканским видам (рис. 1).

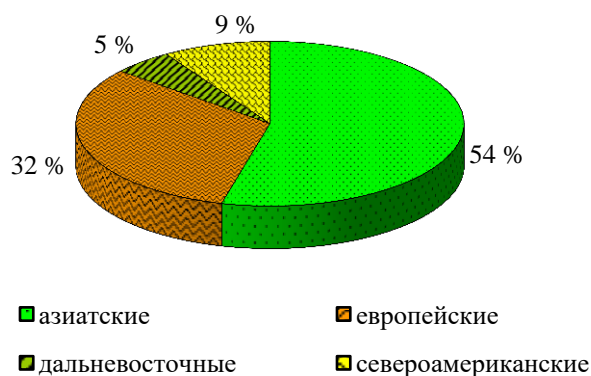


Рис. 1. География шиповников, произрастающих в дендрокolleкциях ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

Fig. 1. Geography of wild roses growing in dendrological collections of the Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Forestation of the Russian Academy of Sciences

Континентальность климата Волгоградской области увеличивается с северо-запада на юго-восток. Это проявляется в росте годовой амплитуды воздуха на 1...2 °С, уменьшении годовой суммы осадков на 100...200 мм, более частой повторяемости пыльных бурь и большой запыленности воздуха в летний период. Среднегодовая температура воздуха изменяется от 5,1...5,4 °С в северных районах до 7,5...8,2 °С на юге территории. Самым теплым месяцем является июль, самыми холодными – январь и февраль (среднемесячная температура составляет –9,5...–9,1 °С). Осадки являются важной характеристикой климата. На территории Волгоградской области среднегодовое количество осадков варьирует от 270 до 300 мм [9]. Свет, тепло, влажность воздуха и запасы влаги в почве в условиях района исследований благоприятны для успешного произрастания испытываемых видов шиповников.

Фенологические наблюдения проводили по основным фазам развития с использованием методики Главного ботанического сада [7], флористический и географический анализы – по каталогам и справочникам [12–15]. Рост шиповников изучали путем ежегодных замеров высоты, диаметра и ширины кроны. Для анализа выбирали по 5 растений каждого вида, приблизительно идентичных по возрасту, высоте и диаметру. Сезонную динамику прироста боковых и верхушечных побегов замеряли (в 10-кратной повторности) каждые 5 дн. [2, 22]. Структуру и морфогенез кустарников определяли по методике М.Т. Мазуренко [6], засухоустойчивость и изменение коллоидно-осмотических свойств протоплазмы – по методикам Л.Г. Косулиной, М.Д. Кушниренко [3, 5]. Учитывали разнокачественность кроны куста и различия в водообеспеченности его частей, для получения однородного материала отбирали здоровые и нормально развитые листья среднего яруса кроны с юго-восточной стороны дерева. Материал для анализа собирали в утренние часы (с 7 до 8 ч.) [2, 4]. Полученные данные обрабатывали статистическими методами в прикладных программах MS Excel, Statistica 6.1. В настоящее время шиповники произрастают в виде интродукционных популяций ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и лесозащитного лесоразведения РАН.

Результаты исследования и их обсуждение

Облиствение всех видов шиповников начинается рано весной, с наступлением тепла, что в условиях Волгоградской области отмечается в разные годы со второй половины марта и до конца марта, в прохладные годы – в первой-второй декаде апреля. Сначала распускается листва у азиатских видов, позже – у североамериканских и дальневосточных (табл. 2).

Таблица 2

Развитие видов рода *Rosa* L. в Волгограде и Камышине

Вид	Пункт наблюдения	Сроки цветения (крайние даты)		Продолжительность цветения, дн.	Сроки созревания плодов		Начало сбора плодов и семян
		Начало	Конец		Начало	Конец	
<i>R. spinosissima</i>	В	30.IV	8.V	7–12	12.VI	28.VI	15.VI
	К	27.V	19.VI				
<i>R. cinnamomea</i>	В	13.V	21.V	10–12	4.VII	15.VIII	5.VIII
	К	20.V	30.V				
<i>R. rugosa</i>	В	15.V	27.VIII	90	12.VII	30.IX	20.VIII
	К	18.V	28.VIII				
<i>R. ecae</i>	В	6.V	14.V	7–10	20.VI	15.VII	5.VII
	К	10.V	16.V				
<i>R. pomifera</i>	В	15.V	23.V	7–10	23.VII	14.VIII	7.VIII
	К	7.VI	15.VI				
<i>R. canina</i>	В	10.V	16.V	7–10	9.VIII	29.VIII	20.VIII
	К	14.V	20.V				
<i>R. acicularis</i>	В	15.V	22.V	7–10	29.VII	27.VIII	1.VIII
	К	17.V	25.V				
<i>R. begeriana</i>	В	12.V	18.V	7–10	10.VIII	30.VIII	22.VIII
	К	16.V	22.V				

Примечание. В – г. Волгоград; К – г. Камышин.

Наступление и продолжительность фенофаз у одного и того же вида варьируют по годам в соответствии с погодными условиями.

Наблюдения показали, что изучаемые виды обладают достаточно хорошим ростом в условиях светло-каштановых почв и достигают той же высоты, что и в пределах естественного ареала. По росту к I группе (высота 2...3 м) относятся: *R. oxyacantha*, *cinnamomea*, *virginiana*, *beggeriana*, *canina*, *davurica*, *tuschetica*, *caesia*, *ussurinensis*, *laxa*, *fedschenkoana*, ко II группе (1...2 м): *R. rubiginosa*, *chinensis*, *webbiana*, *acicularis*, *corymbifera*, *gallica*. Самыми низкорослыми (до 1 м) кустарниками III группы являются: *R. banksiae*, *jacutica*, *rugosa*, *spinosissima*, *ecae*. В условиях интродукции в Волгоградскую область период вегетации у шиповников приурочен к наиболее благоприятному ранневесеннему сезону. Начальный этап развития у шиповников в засушливой зоне приходится на конец апреля – май, когда в почве достаточно влаги и температура воздуха достигает 16 °С, в этот период наблюдается наиболее интенсивный рост (рис. 2).

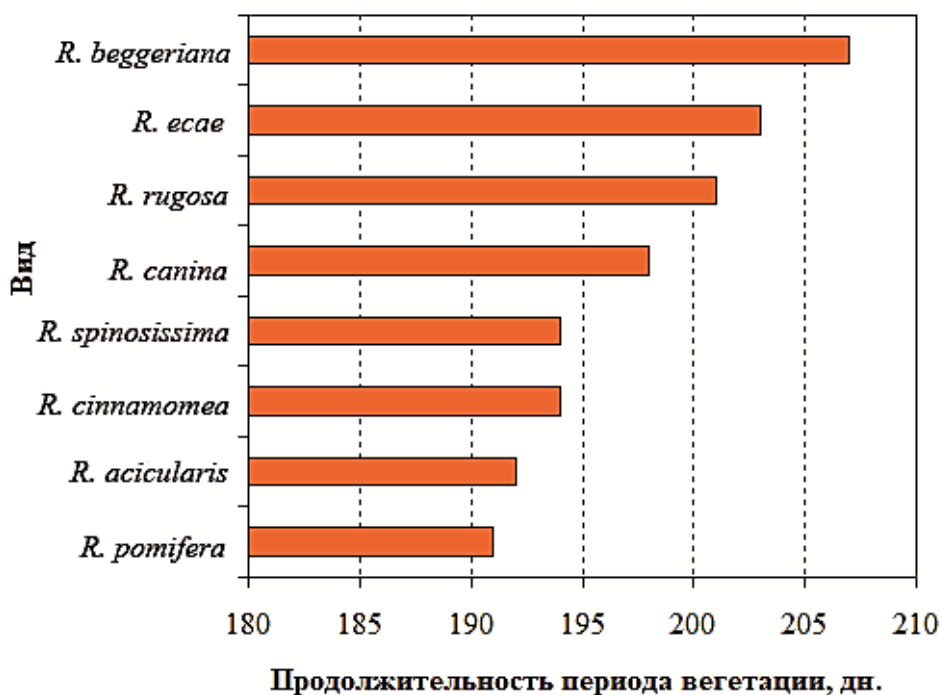


Рис. 2. Сравнение продолжительности периода вегетации различных видов шиповников в Волгоградской области

Fig. 2. Comparison of the growing season duration of wild rose species in Volgograd region

Прирост побегов во многом зависит от количества имеющихся в растении пластических веществ, поэтому весной он осуществляется за счет отложенных в прошлом сезоне запасных веществ, что обеспечивает быстрое переключение кустарника на рост и развитие (табл. 3).

Таблица 3

Прирост (см) боковых побегов шиповников в годы наблюдений

Вид	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.
<i>R. canina</i>	39,4 ± 10,1	34,9 ± 5,6	35,1 ± 8,7	39,4 ± 7,6
<i>R. acicularis</i>	31,7 ± 9,8	27,3 ± 3,3	32,3 ± 7,4	31,7 ± 5,3
<i>R. spinosissima</i>	35,3 ± 9,7	31,6 ± 5,3	34,4 ± 9,2	32,4 ± 5,7
<i>R. beggeriana</i>	34,2 ± 8,4	30,1 ± 3,2	32,2 ± 5,2	35,7 ± 7,4
<i>R. rugosa</i>	36,2 ± 10,3	29,8 ± 7,1	33,9 ± 6,8	26,3 ± 6,9
<i>R. pomifera</i>	32,0 ± 10,0	30,4 ± 6,2	31,5 ± 8,1	31,8 ± 6,6
<i>R. ecae</i>	33,9 ± 9,1	28,5 ± 4,8	32,7 ± 6,2	30,9 ± 8,2
<i>R. cinnamomea</i>	38,8 ± 10,1	32,3 ± 4,2	36,1 ± 5,5	37,5 ± 7,1
Среднемесячная температура воздуха, °С (IV–VIII) [8]	+18,5	+21,6	+20,1	+21,8
Среднемесячное количество осадков, мм (IV–VIII) [8]	89	121	62	62

В возрасте 4 года высокорослый вид *R. canina* достигает высоты 2,2 м, среднерослый вид *R. acicularis* – 1,8 м, низкорослая форма вида *R. spinosissima* – 0,8 м (рис. 3).

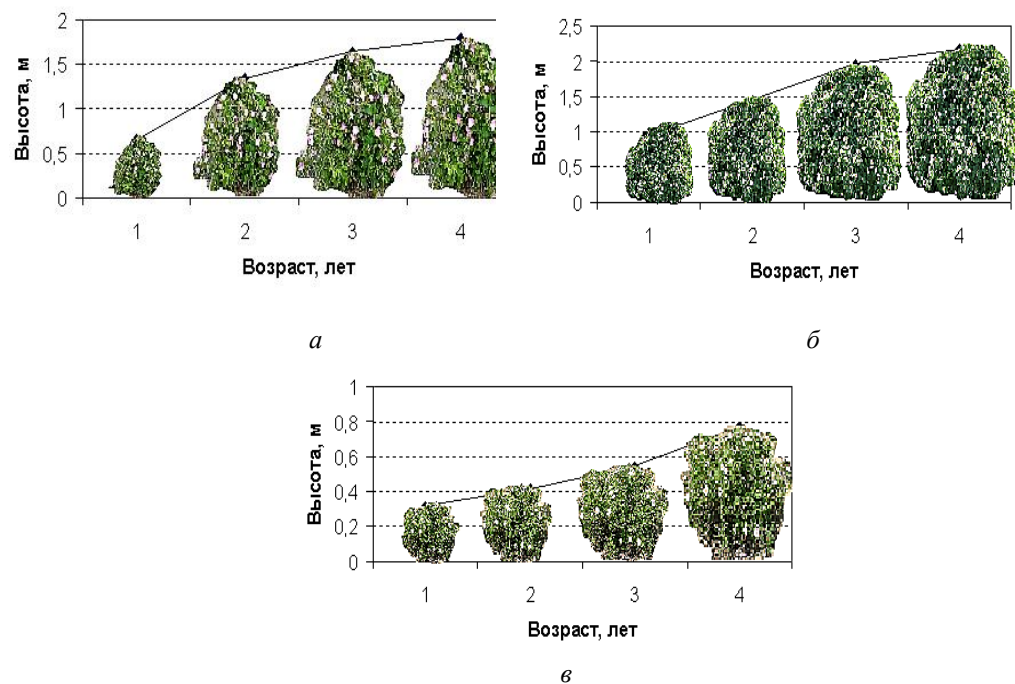


Рис. 3. Динамика роста шиповников по годам: а – *R. canina*; б – *R. acicularis*; в – *R. spinosissima*

Fig. 3. Growth dynamics of wild rose by years: а – *R. canina*; б – *R. acicularis*; в – *R. spinosissima*

В засушливые годы у шиповников имело место снижение тургора, а колебания водного дефицита достигали 15 %. В опытах по определению водного дефицита листьев наиболее интенсивно теряли воду, а значит и обладали наименьшими водоудерживающими силами, североамериканские и европейские виды (*R. acicularis*, *R. cinnamomea*, *R. pomifera* и *R. canina*). У азиатских (*R. ecae* и *R. beggeriana*) и дальневосточного (*R. rugosa*) видов наблюдался низкий водный дефицит в период снижения влажности воздуха и почвы при повышенных температурах воздуха, что свидетельствует о более высокой водоудерживающей способности. Изученные виды родового комплекса *Rosa L.* по степени сопротивления засухе можно распределить на группы с высокой (*R. beggeriana*, *R. ecae*, *R. canina*, *R. spinosissima*) и средней (*R. acicularis*, *R. pomifera*, *R. cinnamomea*, *R. rugosa*) степенью засухоустойчивости (рис. 4).

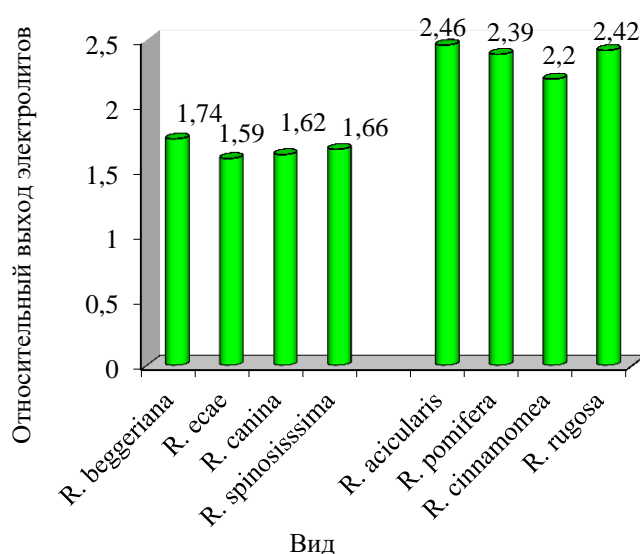


Рис. 4. Оценка электролитическим методом засухоустойчивости различных видов шиповников

Fig. 4. Assessment of drought tolerance of wild rose species by electrolysis

Шиповники I группы (1,59–1,74) отличаются высокой степенью сопротивления воздействию засухи, у видов II группы (2,2–2,46), характеризующихся средней степенью засухоустойчивости, вязкость протоплазмы и водоудерживающая способность листьев в процессе завядания понижались.

Заключение

Таким образом, проведенные в Волгоградской области исследования позволили установить, что прохождение фенологических фаз у шиповников разных видов сопряжено с изменением среднесуточных температур района произрастания.

Шиповники, взятые для интродукции из разных мест, имеют разные формы и проекции кроны, а также степень засухоустойчивости, которая играет важную роль для защитного лесоразведения и озеленения. Приросты побегов и различия по группам роста могут быть показателями успешного выращивания. Лучшим приростом побегов отличаются высокорослые (*R. canina*

и *R. cinnamomea*) и среднерослый (*R. rugose*) виды, которые хорошо переносят обрезку и могут быть рекомендованы в качестве живых изгородей.

Шиповники с высокой степенью засухоустойчивости (*R. beggeriana*, *R. ecae*, *R. canina*, *R. spinosissima*) представляют интерес для защитного лесоразведения и озеленения Волгоградской области как экологически пластичные, ксероморфные виды, обладающие широкой амплитудой адаптивной способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агролесомелиорация / под ред. А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. 5-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 746 с.
2. Ануцин Н.П. Лесная таксация: учеб. для вузов. М: Лесн. пром-сть, 1971. 512 с.
3. Косулина Л.Г., Луценко Э.К., Аксенова В.А. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Изд-во Ростов. ун-та, 1993. 240 с.
4. Кругляк В.В., Семенютина А.В., Гурьева Е.И. Модели архитектоники рекреационных насаждений для адаптивных систем озеленения // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2017. № 3. С. 108–112.
5. Кушницренко М.Д. Физиология водообмена и засухоустойчивости плодовых растений / под. ред. П.А. Генкеля. Кишинев: Штиинца, 1975. 214 с.
6. Мазуренко М.Т., Хохряков А.П. Структура и морфогенез кустарников. М.: Наука, 1977. 160 с.
7. Методика фенологических наблюдений в Ботанических садах СССР // Бюлл. ГБС АН СССР. 1979. Вып. 113. С. 3–8.
8. Погода в Волгограде // Погода и климат. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560> (дата обращения: 26.11.2017).
9. Сажин А.Н. Природно-климатический потенциал Волгоградской области: научное исследование природно-климатических ресурсов области за 100-летний период. Волгоград: Волгоград. с.-х. ин-т, 1993. 28 с.
10. Семенютина А.В., Свинцов И.П., Костюков С.М. Генофонд кустарников для зеленого строительства. М.: Наука, 2016. 238 с.
11. Семенютина А.В., Соломенцева А.С. Обоснование ассортимента шиповников для обогащения лесомелиоративных комплексов в засушливых условиях // Изв. Нижневолж. агроунив. комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3(31). С. 74–79.
12. Соколов С.Я., Связева О.А. География древесных растений СССР. М.; Л.: Наука, 1965. 265 с. (Деревья и кустарники СССР; т. 7).
13. Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. и др. Ареалы деревьев и кустарников СССР: в 3 т. Т. 2: Гречишные–розоцветные. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1980. 144 с.
14. Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. и др. Ареалы деревьев и кустарников СССР: в 3 т. Т. 3: Бобовые–жимолостные. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1986. 182 с.
15. Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли / АН СССР. Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1978. 247 с.
16. Bruun H.H. Prospects for Biocontrol of Invasive *Rosa rugosa* // BioControl. 2006. Vol. 51. Pp. 141–181. DOI: 10.1007/s10526-005-6757-6
17. Bruun H.H., Kelager A., Pedersen J.S. Multiple Introductions and No Loss of Genetic Diversity: Invasion History of Japanese Rose, *Rosa rugosa*, in Europe // Biological Invasions. 2013. Vol. 15. Pp. 1125–1141. DOI: 10.1007/s10530-012-0356-0
18. Cuizhi G., Tseue-Chin K., Robertson K.R. *Rosa* Linnaeus, Sp. Pl.1:491.1753 // Flora of China. 2003. Vol. 9. Pp. 339–381.
19. Kollmann, J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun H.H. Limiting Factors for Seedling Emergence and Establishment of the Invasive Non-Native *Rosa rugosa* in a

Coastal Dune System // Biological Invasions. 2007. Vol. 9, iss. 1. Pp. 31–42. DOI: 10.1007/s10530-006-9003-y

20. Nybom H. Genetics and Genomics of Rosaceae. Series: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Vol. 6 / ed. by K.M. Folta, S.E. Gardiner. New York: Springer, 2009. 636 p.

21. Semenyutina A.V., Kostyukov S.M. Bioecological Justification Assortment of Shrubs for Landscaping Urban Landscapes. Montreal, Canada: Accent Graphics Communications, 2013. 164 p.

22. Semenyutina A.V., Podkovyrov I.Y., Huzhahmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Podkovyrova G.V. Mathematical Justification of the Selection of Wood Plants Biodiversity in the Reconstruction of Objects of Gardening // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2016. Vol. 110, no. 2. Pp. 361–368.

23. Zimmerman H., Ritz C.M., Hirsch H., Renison D., Wesche K., Hensen I. Highly Reduced Genetic Diversity of *Rosa rubiginosa* L. Populations in the Invasive Range // International Journal of Plants Sciences. 2010. Vol. 171, no. 4. Pp. 435–446.

Поступила 12.04.18

UDC 631.524:582.71

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.105

Growth and Phenological Development of Introduced Wild Rose (*Rosa* L.) Species in Volgograd Region

A.V. Semenyutina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A.S. Solomentseva, Junior Research Scientist

Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Forestation, Russian Academy of Sciences, pr. Universitetskiy, 97, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: alexis2425@mail.ru

Studying of growth processes and phenological development is essential in theory and practice of plants growing in the conditions of introduction. The study was carried out in Volgograd region in 2008–2016. The climate of the region is arid and extremely continental. It is described by long hot dry sunny summer, long sunny autumn, the lack of atmospheric precipitation, the extreme winter temperature fluctuations which limit growth and development of plants. Plants (8–17 years of age) of different geographical origin were the objects of the study. Among them were *R. rugosa*, *R. cinnamomea*, *R. beggeriana*, *R. acicularis*, *R. ecae*, *R. pomifera*, *R. spinosissima*, *R. canina*. We took not less than 25 plants of each species for the research. It was found that the climatic conditions of Volgograd region are favorable for wild roses from North America, Japan, China and Central Asia. In each stage of seasonal development under new environmental conditions they need the same temperatures for normal development as they had in their homeland. All the studied wild roses species bloom and bear fruits profusely in favorable hydrothermal years. Early blooming (the end of April) of *Rosa ecae* in Volgograd conditions were observed. Its habitat is the mountains of Central Asia. *Rosa beggeriana* and *Rosa cinnamomea* are blooming in early May. *Rosa acicularis* and *Rosa pomifera* are tardy flowering (the late May, June). The duration of blooming of the species depends on their geographical origin and the weather conditions of the growing season. The most part of wild roses are blooming for 27–45 days. *Rosa rugosa* blooms from the late June until the freezing temperatures. It is an excellent decorative plant for ground landings. It is found that the phenological stages of wild roses are usually associated with the dynamics of regional thermal resources and seasonal variations of average daily air temperature. The habit of wild roses is formed under drought condi-

For citation: Semenyutina A.V., Solomentseva A.S. Growth and Phenological Development of Introduced Wild Rose (*Rosa* L.) Species in Volgograd Region. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 105–115. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.105

tions with a good environmental illumination. The studied species were divided into three groups according to their height: I – from 2 to 3 m; II – from 1 to 2 m; III – up to 1 m. *Rosa acicularis* is in the II group; *Rosa cinnamomea*, *Rosa beggeriana* and *Rosa pomifera* are in the I group. The most low-growing shrubs are *Rosa ecae* and *Rosa rugosa*. They reach up to 0.6 – 0.7 m of height at the age of fifteen growing in light chestnut soils. Wild roses grow very rapidly at a young age, especially in irrigated nursery, under groundbreaking drought conditions of soil and air and intensive illumination.

Keywords: wild roses *Rosa* L., growth, phenological development, forest melioration, greening, introduction, shrubs, environmental factors.

REFERENCES

1. *Agrolesomelioratsiya* [Agricultural Forest Melioration]. Ed. By A.L. Ivanov, K.N. Kulik, Volgograd, VNIALMI Publ., 2006. 746 p. (In Russ.)
2. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya: ucheb. dlya vuzov* [Forest Inventory. Textbook for University]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 512 p. (In Russ.)
3. Kosulina L.G., Lutsenko E.K., Aksenova V.A. *Fiziologiya ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym faktoram sredy: ucheb. posobiye* [Physiology of Plant Resistance to Adverse Environmental Factors. Educational Textbook]. Rostov-on-Don, Rostov University Publ., 1993. 240 p. (In Russ.)
4. Kruglyak V.V., Semenyutina A.V., Gur'yeva E.I. *Modeli arkhitektoniki rekreatsionnykh nasazhdeniy dlya adaptivnykh sistem ozeleneniya* [Architectonical Models of Recreational Plantations for Adaptive Systems of Landscaping]. *Vestn. VGU. Ser.: Geografiya. Geoekologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Geography and Geoecology Series], 2017, no. 3, pp. 108–112.
5. Kushnirenko M.D. *Fiziologiya vodoobmena i zasukhoustoychivosti plodovykh rasteniy* [Physiology of Water Exchange and Drought Resistance of Fruit Plants]. Ed. by P.A. Genkelya, Chisinau, Shtiintsa Publ., 1975. 214 p. (In Russ.)
6. Mazurenko M.T., Khokhryakov A.P. *Struktura i morfogenez kustarnikov* [Structure and Morphogenesis of Shrubs]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 160 p. (In Russ.)
7. *Metodika fenologicheskikh nablyudeniy v Botanicheskikh sadakh SSSR* [Methods of Phenological Observations in the Botanical Gardens of the USSR]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada Akademii nauk SSSR* [Bulletin of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR], 1979, vol. 113, pp. 3–8.
8. *Pogoda v Volgograde* [Weather in Volgograd]. "Weather and Climate". Website Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560> (accessed 26.11.2017).
9. Sazhin A.N. *Prirodno-klimaticheskii potentsial Volgogradskoy oblasti: nauchnoye issledovaniye prirodno-klimaticheskikh resursov oblasti za 100-letniy period* [Natural and Climatic Potential of Volgograd Region: Scientific Research of Natural and Climatic Resources of the Region within 100 Years]. Volgograd, Volgograd. s.-kh. in-t Publ., 1993. 28 p. (In Russ.)
10. Semenyutina A.V., Svintsov I.P., Kostyukov S.M. *Genofond kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva* [The Gene Pool of Shrubs for Green Building]. Moscow, Nauka Publ., 2016. 238 p. (In Russ.)
11. Semenyutina A.V., Solomentseva A.S. *Obosnovaniye assortimenta shipovnikov dlya obogashcheniya lesomeliorativnykh kompleksov v zasushlivykh usloviyakh* [Substantiation of Wild Rose Selection for Enrichment of Agroforestry Systems in Drought Conditions]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye* [Proceedings of Nizhnevozskskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education], 2013, no. 3(31), pp. 71–79.
12. Sokolov S.Ya., Svyazeva O.A. *Geografiya drevesnykh rasteniy SSSR* [Geography of Woody Plants of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 265 p. (In Russ.)

-
13. Sokolov S.Ya., Svyazeva O.A., Kubli V.A. i dr. *Arealy derev'yev i kustarnikov SSSR: v 3 t. T. 2: Grechishnyye-rozotsvetnyye* [The Ranges of Trees and Shrubs of the USSR. In 3 vol. Vol. 2. Polygonaceae – Rosaceae]. Leningrad, Nauka Publ., 1980. 144 p. (In Russ.)
14. Sokolov S.Ya., Svyazeva O.A., Kubli V.A. I dr. *Arealy derev'yev i kustarnikov SSSR: v 3 t. T. 3: Bobovyye-zhimolostnyye* [The Ranges of Trees and Shrubs of the USSR. In 3 vol. Vol. 2. Leguminosae – Caprifoliaceae]. Leningrad, Nauka Publ., 1986. 182 p. (In Russ.)
15. Takhtadzhyan A.L. *Floristicheskiye oblasti Zemli* [Floristic Regions of the Earth]. AN SSSR. Botan. in-t im. V.L. Komarova [AS USSR. Botanical Institute named after V.L. Komarov]. Leningrad, Nauka Publ., 1978. 247 p. (In Russ.)
16. Bruun H.H. Prospects for Biocontrol of Invasive *Rosa rugosa*. *BioControl*, 2006, vol. 51, pp. 141–181. DOI: 10.1007/s10526-005-6757-6
17. Bruun H.H., Kelager A., Pedersen J.S. Multiple Introductions and No Loss of Genetic Diversity: Invasion History of Japanese Rose, *Rosa rugosa*, in Europe. *Biological Invasions*, 2013, vol. 15, pp. 1125–1141. DOI 10.1007/s10530-012-0356-0
18. Cuizhi G., Tseue-Chin K., Robertson K.R. *Rosa* Linnaeus, Sp. Pl.1:491.1753. *Flora of China*, 2003, vol. 9, pp. 339–381.
19. Kollmann, J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun H.H. Limiting Factors for Seedling Emergence and Establishment of the Invasive Non-Native *Rosa rugosa* in a Coastal Dune System. *Biological Invasions*, 2007, vol. 9, iss. 1, pp. 31–42. DOI: 10.1007/s10530-006-9003-y
20. Nybom, H. *Genetics and Genomics of Rosaceae*. Series: Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Vol. 6. Ed. by K.M. Folta, S.E. Gardiner, New York, NY, Springer, 2009. 636 p.
21. Semenyutina A.V., Kostyukov S.M. *Bioecological Justification Assortment of Shrubs for Landscaping Urban Landscapes*. Montreal, QC, Canada, Accent Graphics Communications, 2013. 164 p.
22. Semenyutina A.V. Podkovyrov I.Y., Huzhahmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Podkovyrova G.V. Mathematical Justification of the Selection of Wood Plants Biodiversity in the Reconstruction of Objects of Gardening. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2016, vol. 110, no. 2, pp. 361–368.
23. Zimmerman H., Ritz C.M., Hirsch H., Renison D., Wesche K., Hensen I. Highly Reduced Genetic Diversity of *Rosa rubiginosa* L. Populations in the Invasive Range. *International Journal of Plants Sciences*, 2010, vol. 171 no. 4, pp. 435–446.

Received on April 12, 2018

УДК 630*(453+22)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.116

ВЛИЯНИЕ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА НА ОНТОГЕНЕТИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ *

Н.М. Дебков, канд. с.-х. наук, науч. сотр.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

Проблема инвазий насекомых в лесные экосистемы является широко распространенной в мире. В предлагаемой статье рассматривается воздействие инвайдера – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. – на онтогенетическую структуру лесов с доминированием пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. Исследования проведены в западносибирском очаге инвазии в 2016–2017 гг. Установлено, что наименее подвержены воздействию уссурийского полиграфа насаждения с левосторонней онтогенетической структурой. Пихтачи с правосторонней структурой менее устойчивы и за редким исключением достаточно быстро деградируют. Насаждения со смешанным типом онтогенетической структуры занимают промежуточное положение. Отмечена высокая резистентность пихтовых лесов с постгенеративным типом и в целом сообществ с долевым участием деревьев постгенеративного онтогенетического состояния выше 30...40 %. Показано, что существует единый механизм инвазии уссурийского полиграфа для насаждений всех типов онтогенетической структуры, который заключается в первоочередной атаке короедов на поздние виргинильные и молодые генеративные пихты. С течением времени эти деревья могут полностью выпадать из состава сообществ, а средневозрастные и старые генеративные деревья – повреждаться в значительной степени. Во время массового размножения полиграфа наблюдается значительная гибель также ранних виргинильных пихт (до 50 %), что приводит к эффекту искусственного омоложения подроста и снижению его морфологических параметров.

Ключевые слова: пихта сибирская *Abies sibirica* Ledeb., уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* Blandf., онтогенетическая структура, инвазия, Западная Сибирь.

Введение

Вопросам влияния растительноядных насекомых на лесные экосистемы уделяется очень много внимания как в отечественной науке [6, 9], так и за рубежом [12, 18, 19]. Особую актуальность приобретают работы по оценке воздействия инвазивных (чужеродных) насекомых на древесные виды [1, 5, 11, 13, 16]. Изучаются многие аспекты этого влияния, вплоть до видообразования у растений в результате избирательного воздействия насекомых [17]. В немногочисленных публикациях, в основном энтомологической направленности и близких по тематике к предлагаемой статье [14, 20], рассматривается влияние

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-44-700782 p-a).

Для цитирования: Дебков Н.М. Влияние уссурийского полиграфа на онтогенетическую структуру пихтовых лесов Западной Сибири // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 116–125. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.116

растений на насекомых, по большей части в аспекте привлекательности деревьев разных онтогенетических состояний в качестве кормового субстрата.

Наши исследования направлены на оценку воздействия дальневосточного инвайдера – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf., на онтогенетическую структуру пихтовых насаждений на территории вторичного (инвазивного) ареала в пределах Западной Сибири.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в 2016–2017 гг. на территории Томской области – в одном из регионов-реципиентов инвазии уссурийского полиграфа. Экспедиционными работами были охвачены 8 из 16 административных районов области (Томский, Асиновский, Первомайский, Тегульдетский, Шегарский, Кривошеинский, Бакчарский и Чаинский). В ходе выполнения полевых работ были обследованы пихтовые насаждения, расположенные как в эксплуатационных лесах, так и в лесах разных категорий защитности, включая особо охраняемые природные территории (Ларинский, Поскоевский, Томский и Калтайский заказники).

Методика работ заключалась в закладке пробных площадей (ПП) общепринятыми методами и определении онтогенетических состояний деревьев и подроста пихты сибирской в очагах инвазии короеда (уссурийского полиграфа) с учетом разработанной периодизации онтогенеза пихты сибирской [7]. Для изучения онтогенетических спектров древесного яруса заложено 14 ПП, на которых измерено 1035 деревьев пихты, исследование влияния инвайдера на онтогенетическую структуру подроста пихты проведено на 11 ПП, где измерено 1042 экземпляра.

Все исследованные популяции относятся к нормальному типу онтогенетического спектра [8], т. е. представлены деревьями пихты всех онтогенетических состояний, начиная от всходов и заканчивая старыми генеративными экземплярами. В нашей работе онтогенетическая структура ценопопуляции исходя из лесохозяйственных соображений была разделена на 2 составляющие: древесный полог (включая 2-й ярус) и подрост. В свою очередь спектр древесного полога, ввиду существенного отличия долевого участия деревьев того или иного онтогенетического состояния, классифицировали с выделением типов онтогенетических спектров, увязав их с группами типов возраста: виргинильный, прегенеративный, генеративный и постгенеративный, которым соответствуют средневозрастное, приспевающее, спелое и перестойное насаждения, где преобладают соответственно поздние виргинильные, молодые, средневозрастные и старые генеративные деревья.

Также модифицировали для решения задач исследования общепринятую в ботанической науке классификацию онтогенетических спектров (левосторонние, правосторонние), дополнив ее смешанным онтогенетическим спектром, в котором деревья разных онтогенетических состояний имеют примерно одинаковые доли или распределение характеризуется бимодальностью. Данная классификация применялась только к древесному пологу (включая 2-й ярус).

Анализ онтогенетических спектров древесного яруса проводили, вычисляя индекс возрастности ценопопуляции (средняя возрастность ценопопуляции) [10], индекс восстановления (отношение числа прегенеративных деревьев к сумме прегенеративных и генеративных), индекс старения (отношение числа постгенеративных к общему числу деревьев) [2], индекс эффективности (средняя эффективность ценопопуляции) [4].

С определенной долей условности мы относили такие онтогенетические состояния, как проростки, ювенильные, ранние и поздние иматурные и ранние виргинильные особи, к лесоводственной категории «подрост». Поздние виргинильные считали идентичными 2-му ярусу, молодые, средневозрастные и старые генеративные – древостою.

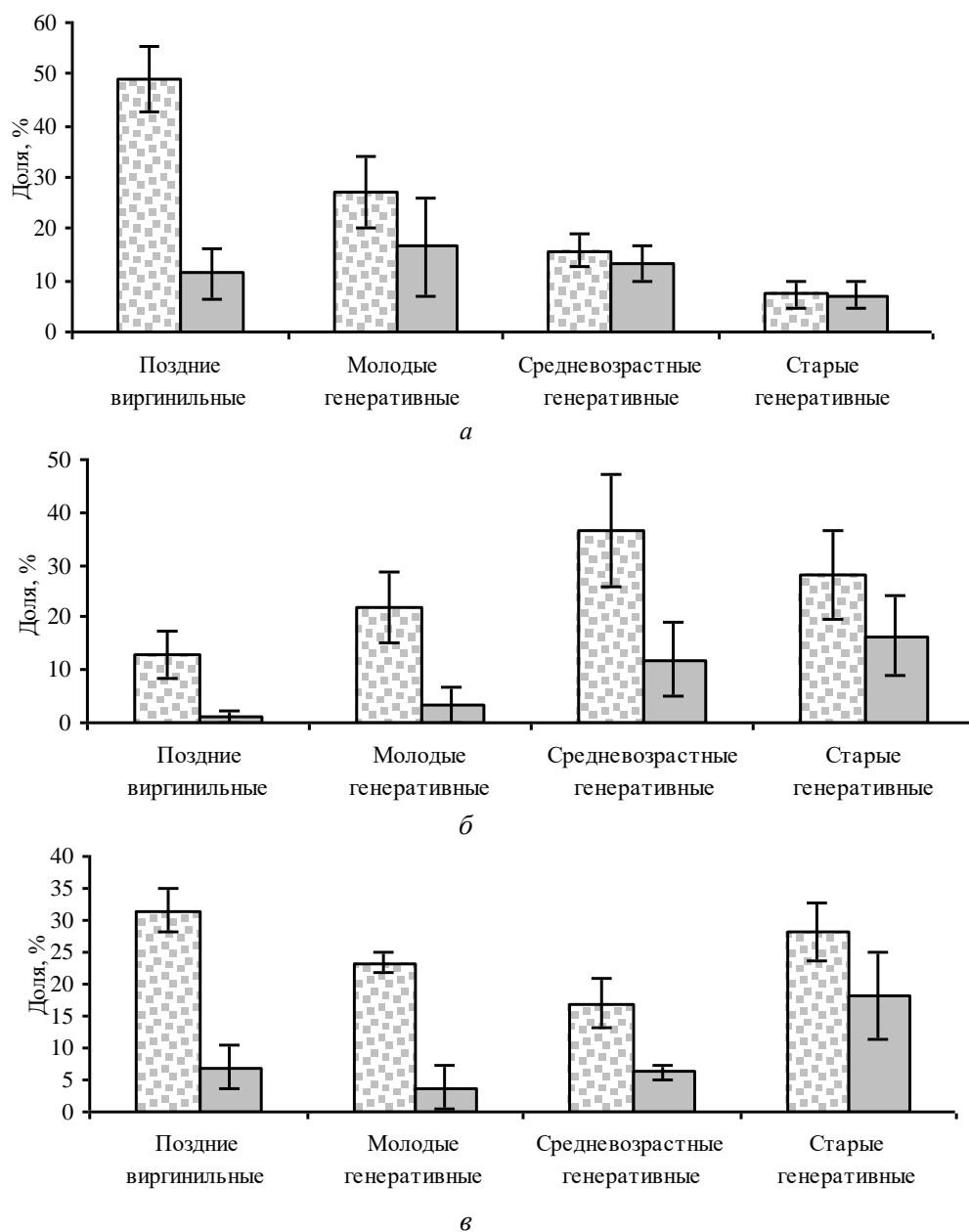
Статистическая обработка экспериментального материала проводилась общеизвестными способами. При расчетах корреляционных зависимостей, поскольку сравнивались данные как количественного характера, так и порядковые, применялась ранговая корреляция Спирмена.





Результаты исследования и их обсуждение

Обследованные пихтовые насаждения являются типичными (фоновыми) для южной тайги Западной Сибири и относятся к двум основным типам леса: мшистому (зеленомошному) и разнотравному. Одна из характерных особенностей пихтовых лесов в равнинной тайге заключается в том, что из-за их довольно узкой экологической амплитуды топически они приурочены к местобитаниям с повышенной трофностью и оптимальным режимом увлажнения. Это подтверждается небольшим варьированием классов бонитета (II-III). По составу насаждения представляют собой смешанные древостои с участием пихты от 4 до 7 единиц (модальное значение 4-5). Возрастная структура более гетерогенна и колебания ее составляют от 60 до 110 лет по основному поколению пихты. В целом для пихтовых лесов типична разновозрастность, как и для обследованных насаждений.

Санитарное состояние изученных пихтовых насаждений сильно варьирует. Средневзвешенная категория состояния (СКС) колеблется от 1,4 (отсутствие деградации) в пихтовом древостое, расположенном в Калтайском заказнике (ПП № 60-17), до 5,2 (полная деградация) в насаждении с доминированием пихты, находящемся на территории Чаинского лесничества (ПП № 53-17). Рассматривая санитарное состояние пихтачей в разрезе типов онтогенетических структур, отмечаем, что в насаждениях с левосторонним спектром СКС составляет $3,0 \pm 0,6$ (с размахом от 1,6 до 4,6), с правосторонним – $3,6 \pm 0,8$ (от 1,4 до 5,2), со смешанным – $3,8 \pm 0,5$ (от 2,3 до 5,1).

Трансформация онтогенетической структуры древесного полога. Обследованные пихтовые насаждения с левосторонним онтогенетическим спектром (см. рисунок) представлены ПП № 50-17 (Кривошеинское лесничество), № 54-17 (Поскоевский заказник), № 61-17 (Тимирязевское лесничество), № 62-17 и 63-17 (Калтайский заказник). Все насаждения относятся к виргинильному типу онтогенетической структуры, за исключением ПП № 50-17, где она прегенеративная. Доля погибших деревьев достаточно сильно варьирует (от 23 до 92 %), но имеется связь с давностью инвазии. В частности, достоверно известно, что уссурийский полиграф начал массовое размножение на территории Калтайского заказника (и смежного с ним Тимирязевского лесничества) в 2011 г., несколько позднее он появился в Кривошеинском лесничестве и только недавно в Поскоевском заказнике. При этом инициальная стадия инвазии сопровождается, как правило, отпадом исключительно поздних виргинильных и молодых генеративных деревьев. Далее увеличивается доля погибших деревьев этих онтогенетических состояний и к ним добавляются средневозрастные и старые генеративные особи. В нашем случае для данных насаждений среди средневозрастных и старых генеративных особей существенный отпад,



Пихтовые насаждения с левосторонним (а), правосторонним (б) и смешанным (в) онтогенетическими спектрами до  и после  воздействия уссурийского полиграфа
Fir plantations with a left-sided (a), right-sided (б), mixed (в) ontogenetic spectrum before  and after  four-eyed fir bark beetle pressure

превышающий естественный (фоновый) уровень, не зафиксирован ($2,0 \pm 0,7$ и $1,2 \pm 0,7$ % соответственно), отпад более молодых деревьев – от $10,0 \pm 2,9$ % среди молодых генеративных до $38,0 \pm 10,4$ % у поздних виргинильных пихт. При этом значительный отпад среди средневозрастных и особенно старых генеративных деревьев наблюдается в тех насаждениях, где деревья этих онтогенетических состояний составляют незначительную величину (менее 5...10 %).

Обследованные пихтовые насаждения с правосторонним онтогенетическим спектром представлены ПП № 51-17 (Кривошеинское лесничество), № 53-17 (Чаинское лесничество), № 57-17 (Бакчарское лесничество) и № 60-17 (Томский заказник). Все насаждения относятся к генеративному типу онтогенетической структуры, за исключением ПП № 60-17, где она постгенеративная. Доля погибших деревьев также достаточно сильно варьирует (от 18 до 89 %), но имеется связь с типом онтогенетической структуры. В частности, доля погибших деревьев в насаждениях с генеративным типом составляет 80...89 %, а с постгенеративным – 18 %. При этом отпад деревьев в насаждениях с генеративным типом охватывает все онтогенетические состояния и характеризуется полным отпадом поздних виргинильных и молодых генеративных деревьев, в живых остается $6,0 \pm 2,1$ % средневозрастных генеративных и $10,7 \pm 1,2$ % старых генеративных пихт. Совершенно иная картина в насаждении с постгенеративным типом, где поздние виргинильные особи погибли на 69 %, молодые генеративные – на 28 %, а среди средневозрастных и старых генеративных особей отпад не существенен (6 %). Стоит отметить, что встречаемость пихтовых насаждений постгенеративного типа невелика и они приурочены в основном к защитным лесам, как, например, в данном случае к категории ООПТ «Томский заказник».

Обследованные пихтовые насаждения со смешанным онтогенетическим спектром представлены ПП № 52-17 (Кривошеинское лесничество), № 55-17 (Шегарское лесничество), № 56-17, 58-17 и 59-17 (Бакчарское лесничество). Большая часть насаждений относится к виргинильному типу онтогенетической структуры, за исключением ПП № 52-17, где она постгенеративная, и № 56-17, где она генеративная. Доля погибших деревьев также достаточно сильно варьирует (от 27 до 94 %). При этом отпад деревьев в насаждении с постгенеративным типом охватывает все онтогенетические состояния и характеризуется почти полным отпадом поздних виргинильных и молодых генеративных деревьев, живыми выявлено 50 % средневозрастных генеративных и практически все старые генеративные пихты, т. е. характер воздействия аналогичен выше описанному в Томском заказнике. В насаждении с генеративным типом, где также полностью погибли поздние виргинильные и молодые генеративные деревья, в живых осталась только часть средневозрастных (10 %) и старых генеративных (15 %) пихт. Этот характер аналогичен таковому в насаждениях с генеративным типом в других местах. В насаждениях виргинильного типа преимущественно наблюдается гибель поздних виргинильных и молодых генеративных деревьев от 25 до 100 %, среди средневозрастных и старых генеративных особей либо существенный отпад не зафиксирован, либо в живых остается 25...50 % средневозрастных и 70 % старых генеративных пихт.

В рамках анализа полученного материала сформулировали гипотезу, опираясь на работу [15], согласно которой пихтовые насаждения с виргинильным типом онтогенетической структуры и/или левосторонним онтогенетическим спектром более устойчивы к воздействию уссурийского полиграфа. Корреляционный анализ показал, что действительно умеренная положительная связь между онтогенетической структурой (спектром) пихтовых лесов и степенью повреждения имеется ($r = +0,40...0,41$).

В то же время отмечено отсутствие связи с индексами средней возрастной (+0,04), восстановления (+0,01), старения (-0,09) и эффективности ценопопуляции (+0,09). Тем не менее, определенные тенденции в варьировании ценопопуляционных индексов (см. таблицу) в зависимости от онтогенетических спектров, имеются.

**Индексы ценопопуляций пихты сибирской в насаждениях
с разной онтогенетической структурой**

№ ПП	Индекс возрастности	Индекс восстановления	Индекс старения	Эффективность ценопопуляции
<i>Левосторонняя структура</i>				
50-17	0,26	0,33	0,04	68,21
54-17	0,32	0,41	0,12	69,34
61-17	0,28	0,50	0,10	64,33
62-17	0,29	0,51	0,12	63,43
63-17	0,2	0,71	0,03	54,48
<i>Правосторонняя структура</i>				
51-17	0,44	0,18	0,23	80,11
53-17	0,47	0,07	0,27	84,74
57-17	0,47	0,11	0,29	82,39
60-17	0,48	0,16	0,34	79,61
<i>Смешанная структура</i>				
52-17	0,47	0,23	0,44	72,65
55-17	0,37	0,35	0,29	67,89
56-17	0,40	0,24	0,22	76,30
58-17	0,35	0,34	0,16	71,17
59-17	0,37	0,41	0,30	66,08

Установлено, что значения индекса возрастности у насаждений с левосторонней структурой достоверно ниже ($0,27 \pm 0,02$) по сравнению с древостоями, имеющими правосторонний ($0,46 \pm 0,01$) и смешанный ($0,39 \pm 0,02$) спектр. Аналогичная закономерность отмечена и для показателя эффективности ценопопуляции, который нарастает при переходе от насаждений с левосторонним спектром ($63,96 \pm 2,62$) к смешанному ($70,81 \pm 1,80$) и правостороннему ($81,71 \pm 1,18$). Но по индексу восстановления ситуация диаметрально противоположная: наибольшее значение имеют насаждения с левосторонней онтогенетической структурой ($0,49 \pm 0,06$), наименьшее – с правосторонней ($0,13 \pm 0,02$). Древостои со смешанным спектром занимают промежуточное положение ($0,08 \pm 0,02$). Выявлено достоверное отличие значений индекса старения ценопопуляций пихты с левосторонней онтогенетической структурой ($0,28 \pm 0,02$) от древостоев со смешанным ($0,31 \pm 0,03$) и правосторонним ($0,28 \pm 0,05$) спектром.

Трансформация онтогенетической структуры подроста. Исследования, проведенные нами ранее [3], показали, что во время массового размножения уссурийского полиграфа доля насаждений с погибшим подростом может достигать 82 %. В пересчете на крупную категорию подроста отпад варьирует от 10 до 50 %. Выявленная положительная связь между его количеством и категорией состояния пихтового элемента леса (коэффициент корреляции $+0,36$) показывает обусловленность гибели подроста санитарным состоянием древостоя. Увеличение отпада древесного яруса приводит к сокращению кормовой базы полиграфа, который начинает осваивать подрост. При этом основная доля погибшего подроста приходится на крупную категорию (95 %) и лишь 5 % составляет средний подрост. Такой подрост относится к раннему виргинильному состоянию. В результате избирательного воздействия инвайдера на подрост происходит снижение его средних таксационных показателей (высота, возраст, диаметр) и густоты, что в свою очередь приводит к уменьшению их амплитуды.

Заключение

Пихтовые леса Западной Сибири характеризуются значительной вариативностью онтогенетической структуры. В результате исследований установлено, что наименее подвержены воздействию уссурийского полиграфа насаждения с левосторонней онтогенетической структурой. Пихтаци с правосторонней структурой менее устойчивы и за редким исключением достаточно быстро деградируют. Насаждения со смешанным типом онтогенетической структуры занимают промежуточное положение. Отмечена высокая резистентность пихтовых лесов с постгенеративным типом и в целом сообществ с долевым участием деревьев постгенеративного онтогенетического состояния более 30...40 %. Показано, что существует единый механизм инвазии уссурийского полиграфа для насаждений всех типов онтогенетической структуры, который заключается в первоочередной атаке короедов на поздние виргинильные и молодые генеративные пихты. С течением времени эти деревья могут полностью выпадать из состава сообществ, а средневозрастные и старые генеративные деревья – повреждаться в значительной степени. Во время массового размножения полиграфа наблюдается значительная гибель также ранних виргинильных пихт (до 50 %), что приводит к эффекту искусственного омоложения подроста и снижению его морфологических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчиков Ю.Н., Петько В.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н., Кривец С.А. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2011. № 4. С. 78–81.
2. Глотов Н.В. Об оценке параметров возрастной структуры популяций растений // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 1998. Ч. 1. С. 146–149.
3. Дебков Н.М. Природный потенциал возобновления в пихтовых лесах, поврежденных в ходе инвазии уссурийского полиграфа // Лесотехн. журн. 2017. Т. 7, № 1(25). С. 58–68.
4. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
5. Кривец С.А., Бисирова Э.М., Керчев И.А., Пац Е.Н., Чернова Н.А. Трансформация таежных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири // Росс. журн. биол. инвазий. 2015. № 1. С. 41–63.
6. Лямцев Н.И., Исаев А.С. Модификация типов вспышек массового размножения непарного шелкопряда в зависимости от эколого-климатической ситуации // Лесоведение. 2005. № 5. С. 3–9.
7. Махатков И.Д. Пространственная структура ценопопуляций пихты сибирской в черневых пихтовых лесах Салаира: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1998. 125 с.
8. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки / отв. ред.: Л.Б. Заугольнова, Т.Ю. Браславская. М.: Т-во науч. изд. КМК. 2010. 383 с.
9. Пальникова Е.Н., Метелева М.К., Суховольский В.Г. Влияние модифицирующих факторов на динамику численности лесных насекомых и развитие вспышек массового размножения // Лесоведение. 2006. № 5. С. 29–35.
10. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.

11. Bacon S.J., Bacher S., Aebi A. Gaps in Border Controls are Related to Quarantine Alien Insect Invasions in Europe // PLOS ONE. 2012. Vol. 7, iss. 10. Pp. 1–9. Режим доступа: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0047689> (дата обращения: 24.10.2012).

12. Bidart-Bouzat M.G., Imeh-Nathaniel A. Global Change Effects on Plant Chemical Defenses Against Insect Herbivores // Journal of Integrative Plant Biology. 2008. Vol. 50, no. 11. Pp. 1339–1354. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7909.2008.00751.x> (дата обращения: 23.10.2008).

13. Binimelis R., Born W., Monterroso I., Rodriguez-Labajos B. Socio-Economic Impact and Assessment of Biological Invasions // Ecological Studies. 2007. Vol. 193. Pp. 331–347.

14. Boege K., Marquis R.J. Plant Quality and Predation Risk Mediated by Plant Ontogeny: Consequences for Herbivores and Plants // Oikos. 2006. Vol. 115, no. 3. Pp. 559–572. Режим доступа: <http://www.oikosjournal.org/sites/oikosjournal.org/files/appendix/o15076.pdf> (дата обращения: 16.11.2006).

15. Hoque S., Avila-Sakar G. Trade-offs and Ontogenetic Changes in Resistance and Tolerance to Insect Herbivory in Arabidopsis // International Journal of Plant Sciences. 2015. Vol. 176, no. 2. Pp. 150–158.

16. Hulme P.E., Pysek P., Nentwig W., Vila M. Will Threat of Biological Invasions Unite the European Union? // Science. 2009. Vol. 324. Pp. 40–41.

17. Marquis R.J., Salazar D., Baer C., Reinhardt J., Priest G., Barnett K. Ode to Ehrlich and Raven or how Herbivorous Insects Might Drive Plant Speciation // Ecology. 2016. Vol. 97, no. 11. Pp. 2939–2951. Режим доступа: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ecy.1534> (дата обращения: 03.11.2016).

18. Poland T.M., McCullough D.G. Emerald Ash Borer: Invasion of the Urban Forest and the Threat to North America's Ash Resource // Journal of Forestry. 2006. Vol. 104, no. 3. Pp. 118–124. Режим доступа: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2006/nc_2006_Poland_003.pdf (дата обращения: 11.08.2006).

19. Rozendaal D.M.A., Kobe R.K. A Forest Tent Caterpillar Outbreak Increased Resource Levels and Seedling Growth in a Northern Hardwood Forest // PLOS ONE. 2016. Vol. 11, no. 11. Режим доступа: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167139> (дата обращения: 21.11.2016).

20. Santos J.C., Fernandes G.W. Mediation of Herbivore Attack and Induced Resistance by Plant Vigor and Ontogeny // Acta Oecologica. 2010. Vol. 36, no. 6. Pp. 617–625.

Поступила 13.10.17

UDC 630*(453+22)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.116

Four-Eyed Fir Bark Beetle Influence on the Ontogenetic Structure of Fir Forests in Western Siberia

N.M. Debkov, Candidate of Agricultural Sciences, Research Scientist

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Akademicheskii, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

The problem of insect invasion in forest ecosystems is world-wide. The article considers the influence of four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf.) on the ontogenetic structure of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) forests. The studies were held in West Siberian

For citation: Debkov N.M. Four-Eyed Fir Bark Beetle Influence on the Ontogenetic Structure of Fir Forests in Western Siberia. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 116–125. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.116

invasion source in 2016–2017. It had been founded that plantations with a left-sided ontogenetic structure are least vulnerable to the influence of four-eyed fir bark beetle. Fir forests with a right-sided ontogenetic structure are more vulnerable and degrade rapidly almost without any exception. Plantations with a mixed ontogenetic structure are in-between. It was registered that fir forests with post-generative type of trees and forest communities, which consist of more than 30–40 % of trees in post-generative ontogenetic condition, have high resistance. It is shown that there is a single mode of action of four-eyed fir bark beetle invasion of plantations of all ontogenetic structure types, which primarily aims to attack the late virginal and young generative firs. Over the time, these trees will fall out of forest communities and middle-aged and old generative trees will have an extensive damage. Significant mortality of early virginal firs (up to 50 %) is observed during mass reproduction that leads to the effect of artificial rejuvenation of undergrowth and reduction of its morphological features.

Keywords: Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb., four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf., ontogenetic structure, invasion, Western Siberia.

REFERENCES

1. Baranchikov Yu.N., Pet'ko V.M., Astapenko S.A., Akulov E.N., Krivets S.A. Usuriyskiy poligraf – novyy agressivnyy vreditel' pikhty v Sibiri [*Polygraphus proximus* – a New Aggressive Invasive Pest of Firs in Siberia]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2011, no. 4(80), pp. 78–81.
2. Glotov N.V. Ob otsenke parametrov voznrastnoy struktury populyatsiy rasteniy [On the Estimation of the Age Structure Parameters of Plant Populations]. *Zhizn' populyatsiy v geterogennoy srede* [Life of Populations in a Heterogeneous Environment], Yoshkar-Ola, Periodika Mariy El Publ., 1998, vol. 1, pp. 146–149. (In Russ.)
3. Debkov N.M. Prirodnyy potentsial vozobnovleniya v pikhtovykh lesakh, povrezhdennykh v khode invazii ussuriyskogo poligrafa [Natural Potential of Fir Forest Regeneration Caused by Four-eyed Fir Bark Beetle Invasion]. *Lesotekhnicheskij zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 1(25), pp. 58–68.
4. Zhivotovskiy L.A. Ontogeneticheskiye sostoyaniya, effektivnaya plotnost' i klassifikatsiya populyatsiy rasteniy [Ontogenetic States, Effective Density and Classification of Plant Populations]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 1, pp. 3–7.
5. Krivets S.A., Bisirova E.M., Kerchev I.A., Pats E.N., Chernova N.A. Transformatsiya tayezhnykh ekosistem v ochage invazii poligrafa ussuriyskogo *Polygraphus proximus* Blandford (Soleoptera: Curculionidae, Scolytinae) v Zapadnoy Sibiri [Taiga Ecosystem Transformation in Invasion Source of Four-Eyed Fir Bark Beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Western Siberia]. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invazij* [Russian Journal of Biological Invasions], 2015, vol. 6, no. 1, pp. 41–63.
6. Lyamtsev N.I., Isayev A.S. Modifikatsiya tipov vspyshek massovogo raznozheniya neparnogo shelkopryada v zavisimosti ot ekologo-klimaticheskoy situatsii [Modification of the Gypsy Moth Outbreaks Related to Environmental and Climatic Situation]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2005, no. 5, pp. 3–9.
7. Makhatkov I.D. *Prostranstvennaya struktura tsenopopulyatsiy pikhty sibirskoy v chernevykh pikhtovykh lesakh Salaira*: dis. ... kand. biol. nauk [Spatial Structure of Siberian Fir Coenopopulations in the Dark Fir Forests of Salair: Kand. Biol...Sci. Diss.]. Novosibirsk, 1998. 125 p.
8. *Metodicheskiye podkhody k ekologicheskoy otsenke lesnogo pokrova v bassejne maloy reki* [Methodological Approaches to Environmental Assessment of the Forest Canopy Cover in a Small River Basin]. Ed. by L.B. Zaugol'nova, T.Yu. Braslavskaya, Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2010. 383 p. (In Russ.)

9. Pal'nikova E.N., Meteleva M.K., Sukhovol'skiy V.G. Vliyaniye modifitsiruyushchikh faktorov na dinamiku chislennosti lesnykh nasekomykh i razvitiye vspyshek massovogo razmnozheniya [Influence of Modifying Factors on the Forest Insect Population Dynamics and Development of Their Outbreaks]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 5, pp. 29–35.

10. Uranov A.A. Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov [Age Spectrum of Coenopopulations as a Function of Time and Energy Wave Processes]. *Biologicheskiye nauki* [Biological Sciences], 1975, no. 2, pp. 7–34.

11. Bacon S.J., Bacher S., Aebi A. Gaps in Border Controls are Related to Quarantine Alien Insect Invasions in Europe. *PLOS ONE*, 2012, vol. 7, iss. 10, pp. 1–9. Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0047689> (accessed 24.10.2012).

12. Bidart-Bouzat M.G., Imeh-Nathaniel A. Global Change Effects on Plant Chemical Defenses Against Insect Herbivores. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, vol. 50, no. 11, pp. 1339–1354. Available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7909.2008.00751.x> (accessed 23.10.2008).

13. Binimelis R., Born W., Monterroso I., Rodriguez-Labajos B. Socio-Economic Impact and Assessment of Biological Invasions. *Ecological Studies*, 2007, vol. 193, pp. 331–347.

14. Boege K., Marquis R.J. Plant Quality and Predation Risk Mediated by Plant Ontogeny: Consequences for Herbivores and Plants. *Oikos*, 2006, vol. 115, no. 3, pp. 559–572. Available at: <http://www.oikosjournal.org/sites/oikosjournal.org/files/appendix/o15076.pdf> (accessed 16.11.2006).

15. Hoque S., Avila-Sakar G. Trade-offs and Ontogenetic Changes in Resistance and Tolerance to Insect Herbivory in Arabidopsis. *International Journal of Plant Sciences*, 2015, vol. 176, no. 2, pp. 150–158.

16. Hulme P.E., Pysek P., Nentwig W., Vila M. Will Threat of Biological Invasions Unite the European Union? *Science*, 2009, vol. 324, pp. 40–41.

17. Marquis R.J., Salazar D., Baer C., Reinhardt J., Priest G., Barnett K. Ode to Ehrlich and Raven or how Herbivorous Insects Might Drive Plant Speciation. *Ecology*, 2016, vol. 97, no. 11, pp. 2939–2951. Available at: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ecy.1534> (accessed 03.11.2016).

18. Poland T.M., McCullough D.G. Emerald Ash Borer: Invasion of the Urban Forest and the Threat to North America's Ash Resource. *Journal of Forestry*, 2006, vol. 104, no. 3, pp. 118–124. Available at: https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2006/nc_2006_Poland_003.pdf (accessed 11.08.2006).

19. Rozendaal D.M.A., Kobe R.K. A Forest Tent Caterpillar Outbreak Increased Resource Levels and Seedling Growth in a Northern Hardwood Forest. *PLOS ONE*, 2016, vol. 11, no. 11. Available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167139> (accessed 21.11.2016).

20. Santos J.C., Fernandes G.W. Mediation of Herbivore Attack and Induced Resistance by Plant Vigor and Ontogeny. *Acta Oecologica*, 2010, vol. 36, no. 6, pp. 617–625.

Received on October 13, 2017



УДК 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.126

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СТРУНОЙ*Д.Г. Мясищев¹, д-р техн. наук, проф.**Д.Б. Яхяев¹, асп.**В.С. Морозов², д-р техн. наук, проф.*

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: d.myasishchev@narfu.ru, dilmurad-92@mail.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 22, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.morozov@narfu.ru

Необходимость интенсификации множества процессов возникает в отраслях сельского и лесного хозяйства, для этого создается новое оборудование и инновационные технологические схемы. В России наблюдается кризис в области разработки лесохозяйственной техники, снижается количество основных ее видов, увеличивается доля импорта машин и оборудования. Разработка технических решений для измельчения напочвенного покрова (листьев) должна быть направлена, с одной стороны, на сокращение затрат труда, с другой – на развитие техники и технологии измельчения, способствующее снижению энергоемкости этого процесса. В данной статье рассматриваются теоретическая составляющая процесса измельчения подвижной струной, а также энергобаланс процесса и оптимизация энергии, затраченной на эту процедуру, путем увеличения энергии поперечных колебаний струны через выбор оптимальной частоты вращения ротора. Для приведенного конкретного примера в качестве струн-измельчителей использован комплект гитарных струн поскольку технология их изготовления предполагает наличие соответствующих вибраций от внешнего возмущающего воздействия. В нашем случае воздействие обеспечивается периодическим взаимодействием струны с обрабатываемым предметом труда. Следует отметить, что постановка исследования является основой для углубленного рассмотрения процесса разрушения напочвенного покрова с учетом обеспечения резонансного колебания струн в зависимости от их конструктивных параметров и кинематики рабочего органа. В случае усовершенствования данную конструкцию рекомендуется использовать в лесопарковых зонах и на городских придорожных территориях.

Ключевые слова: измельчение напочвенного покрова, угол измельчения, подвижная струна, натяжение струны, условное удлинение струны, энергобаланс.

Введение

В настоящее время промышленность выпускает большое количество разнообразного оборудования стационарного и мобильного типов для измельчения напочвенного покрова. В измельчительных установках, которые нашли практическое применение, в основном реализован механический принцип

Для цитирования: Мясищев Д.Г., Яхяев Д.Б., Морозов В.С. Оценка процесса измельчения напочвенного покрова струной // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.126

разрушения. Актуальность данного исследования основывается на широком спектре технологического применения разрабатываемой конструкции в лесном, сельском хозяйстве, а также в жилищно-коммунальной сфере, с учетом заложенных положительных эффектов.

В данной статье предлагается и рассматривается способ измельчения напочвенного покрова струнами, натянутыми между двумя точками на барабане-роторе, который в свою очередь совершает вращательные движения. В отличие от «классических» мульчеров, процесс измельчения напочвенного покрова вибрирующей струной, по нашему мнению, приведет к уменьшению как коэффициента трения струны о листья, так и сопротивления измельчению. Кроме того, обеспечивается возможность создания резонансного измельчения, что имеет положительную перспективу. С точки зрения компоновки и маневренности предлагаемого агрегата наиболее подходящей базой для него является шасси мини-трактора (мотоблока) [1, 3–7, 12].

Новизна исследования заключается в оптимизации энергозатрат за счет использования энергии поперечных колебаний струны.

Цель исследования – разработка методологической основы, обеспечивающей создание рабочего органа самоходного измельчителя напочвенного покрова при условии минимальных энергозатрат на вращение ротора в процессе работы для улучшения агротехнического состояния поверхности почвы и ее механических свойств [2, 8, 9, 13] (рис. 1).

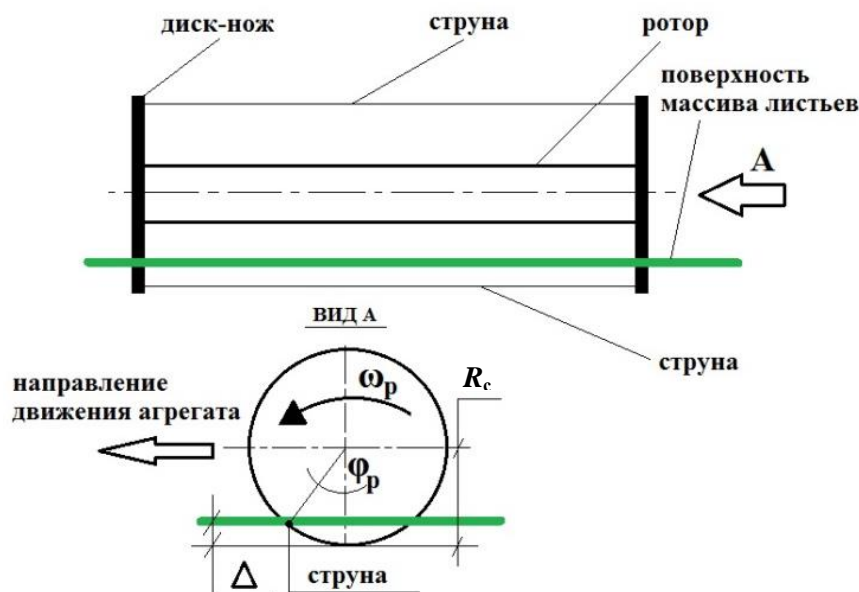


Рис. 1. Принципиальная схема компоновки ротора со струнным измельчителем (струны изображены условно): R_c – радиус установки струны на ротор, м; φ_p – угол измельчения (поворота ротора, в течение которого струна режет (рассекает) объем опавших листьев), рад; ω_p – угловая скорость вращения ротора, рад/с

Fig. 1. The layout diagram of a rotor with a string grinder (the strings are conventionally designed): R_c – radius of string installation on the rotor, m; φ_p – angle of grinding (turning of rotor when the string grinds (cuts) the fallen leaves), rad; ω_p – rotational speed of the rotor, rad/s

Объекты и методы исследования

Для достижения поставленной цели использованы положения динамики системы твердых тел, математического моделирования и методы решения задач оптимизационного исследования. Основным рабочим допущением при моделировании является то, что влиянием центробежных сил на поперечные колебания струн пренебрегаем.

Основная функция в математической модели – энергобаланс измельчения напочвенного покрова подвижной струной:

$$\frac{MV^2}{2} + Q_c = \mathcal{E}_{\text{рез}}, \quad (1)$$

где M – масса струны, кг;

V – линейная скорость струны, м/с;

Q_c – энергия поперечных колебаний струны, Дж;

$\mathcal{E}_{\text{рез}}$ – энергия, затраченная на измельчение напочвенного покрова по продольному сечению струны, Дж.

Таким образом, сумма кинетической энергии и энергии поперечных колебаний струны равна энергии, которая затрачена на рассечение (резку) листьев [11].

Массу струны вычисляем по следующей формуле:

$$M = ml, \quad (2)$$

где m – масса струны на единицу длины без растяжения, кг/м;

l – длина струны без растяжения, м (в нашем случае $l = 0,21$ м).

Массу струны на единицу длины без растяжения можно определить экспериментально делением массы конкретной струны на среднюю длину измеряемого фрагмента. Идеализируя ситуацию, зная плотность и диаметр струн и учитывая, что струны будут изготовлены из углеродистой стали 45, получаем:

$$m = \left(\rho \frac{\pi d^2}{4}\right), \quad (3)$$

где ρ – плотность материала струны, кг/м³ (в нашем случае $\rho = 7820$ кг/м³);

d – диаметр струны, м.

В экспериментах использованы следующие исходные диаметры струны, м: 1 – 0,00023; 2 – 0,00036; 3 – 0,00056; 4 – 0,00079; 5 – 0,00102; 6 – 0,00116.

Энергия, затраченная на измельчение напочвенного покрова по продольному сечению струны, определяется как

$$\mathcal{E}_{\text{рез}} = \varphi_p R_c K_p dl, \quad (4)$$

где $R_c = 0,25$ м;

K_p – среднее удельное сопротивление измельчению опавших листьев, Па (в нашем случае $K_p = 6\,000$ Па) [2].

Воспользуемся теоремой Пифагора и оценим угол измельчения (поворота ротора):

$$\varphi_p = \arccos\left(\frac{R_c - \Delta}{R_c}\right), \quad (5)$$

где Δ – заглублиение струны при вертикальном положении радиуса R_c (см. рис. 1), м (в нашем случае $\Delta = 0,03$ м).

Линейную скорость струны (направление которой приведено на рис. 1) и угловую скорость найдем из следующих зависимостей:

$$V = \omega_p R_c; \quad (6)$$

$$\omega_p = \frac{\pi n}{30}, \quad (7)$$

где n – частота вращения ротора измельчителя, об/мин (рассматриваемая частота вращения 500...3000 об/мин).

Следующая неизвестная в энергобалансе измельчения – энергия поперечных колебаний струны, вызванных внешним возмущением:

$$Q_{\text{стр}} = \frac{1}{4} (b')^2 M \sum C^2 n_1^2, \quad (8)$$

где b' – скорость волны при поперечных колебаниях струны, м/с [10, 11].

$\sum C^2 n_1^2$ – множитель интегрирования дифференциального уравнения полной энергии поперечных колебаний струны.

Все рассуждения базируются на предположении, что струна непременно должна совершать поперечные колебания, поэтому ее диаметр должен быть адекватен данному явлению. В поле нашего зрения, прежде всего, попали струны музыкальных инструментов (гитар). Проволока, например алюминиевая или медная, даже минимальных диаметров однозначно не удовлетворяет требованиям исследования.

Для промежуточных расчетов воспользуемся известной формулой:

$$b' = \sqrt{\frac{T_0 l'}{m l}}, \quad (9)$$

где T_0 – усилие натяжения струны на роторе, Н;

l' – условное удлинение струны при усилении T_0 , м [10, 11].

Вычислим условное удлинение струны при определенном увеличении ее натяжения на роторе:

$$l' = l + \frac{T_0 l}{EA_c}, \quad (10)$$

где E – модуль упругости материала струны, примем $E = 200$ ГПа;

A_c – площадь поперечного сечения струны, м²,

$$A_c = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (11)$$

Определим для конкретной струны максимальное значение $T_{0_{\text{max}}}$, Н:

$$T_{0_{\text{max}}} = A_c [\sigma_c], \quad (12)$$

где $[\sigma_c]$ – предел прочности при растяжении материала струны, Па.

Производительность измельчения (Π_c , м³), одной струной:

$$\Pi_c = \phi_p R_c d l. \quad (13)$$

Суммарная энергия ($\mathcal{E}_{\text{сум}}$, Дж) системы «струна–ротор–предмет труда» в процессе измельчения оценивается следующим уравнением:

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = N \left(\frac{T_0^2 l}{EA_c} + \mathcal{E}_{\text{рез}} \right) + \frac{m_n R_c^2 \omega_p^2}{8}, \quad (14)$$

где N – число струн между двумя дисками-ножами, шт.;

m_n – удвоенная масса диска-ножа ротора, кг (в нашем случае $m_n = 0,7$ кг).

Удельные энергозатраты (e_y , Дж/м²) функционирующей струны на единицу производительности измельчения:

$$e_y = \frac{\mathcal{E}_{\text{сум}}}{\Pi_c} \quad (15)$$

Возможна постановка следующей задачи оптимизационного исследования:

1. Задан набор из 6 гитарных струн (сталь 45) диаметром d и одинаковой длины l .

2. Заданы диапазон возможных значений частоты вращения ротора $n = 500 \dots 3000$ об/мин и угловая скорость ротора ω_p .

3. Известны конструктивные и технологические параметры функционирования измельчителя R_c , K_p , Δ .

4. Заданы диапазон и шаг варьирования T_0 : от $T_{0\text{min}}$ до $T_{0\text{max}}$ при условии, что $T_{0\text{min}} = 0,5T_{0\text{max}}$.

Требуется определить такую совокупность параметров d , ω_p и T_0 , при которой обеспечивается:

$$\begin{aligned} \min e_y, \\ d \in D, \\ \omega_p \in \Omega, \\ T_0 \in T, \end{aligned}$$

где D , Ω и T – области решений.

Результаты исследования и их обсуждение

Принимая в качестве предварительной оценки в расчетах $n = 1500$ об/мин, получаем следующие значения показателей (табл. 1).

Таблица 1

Значения основных показателей при $n = 1500$ об/мин

d , м	$\mathcal{E}_{\text{рез}}$	$\frac{MV^2}{2}$	$Q_{\text{стр}}$	Π_c , м ³	$\mathcal{E}_{\text{сум}}$, Дж		e_y , Дж/м ³	
					при $T_{0\text{max}}$	при $T_{0\text{min}}$	при $T_{0\text{max}}$	при $T_{0\text{min}}$
0,00023	0,035	0,052	-0,016	0,000005	269,6	269,6	45119665	4511769
0,00036	0,056	0,128	-0,072	0,000009	269,6	269,6	28831052	2882796
0,00056	0,087	0,311	-0,224	0,000014	269,7	269,7	18540143	1853534
0,00079	0,123	0,619	-0,496	0,000020	269,9	269,7	13148615	1314184
0,00102	0,159	1,033	-0,874	0,000026	270,0	269,8	10189745	1018100
0,00116	0,180	1,336	-1,155	0,000030	270,1	269,8	8963677	8953741

По результатам, представленным в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

1. Суммарная энергия системы и удельные энергозатраты струны на единицу производительности измельчения в меньшей степени зависят от усилия натяжения струны.

2. Главная переменная в данном оптимизационном исследовании – частота вращения ротора.

3. При выбранной частоте вращения значение энергии поперечных колебаний струн оказалось отрицательным, т. е. при таких высоких частотах вращения затраты энергии на измельчение напочвенного покрова по продольному сечению струн приходится на их работу, энергия поперечных колебаний струн в этом не участвует.

Решение задачи требует корректировки исходных данных. Авторы пришли к выводу априорным путем, что необходимо перевести энергию поперечных колебаний струны в диапазон положительных значений, что уменьшит удельные энергозатраты струны на единицу производительности измельчения. Расчетами установлено, что оптимальным является значение частоты вращения ротора $n = 550$ об/мин. Скорректированные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения основных показателей работы измельчителя при $n = 550$ об/мин

d , м	$\mathcal{E}_{рез}$	$\frac{MV^2}{2}$	$Q_{стр}$	P_c , м ³	$\mathcal{E}_{сум}$, Дж		e_y , Дж/м ³	
					при T_{0max}	при T_{0min}	при T_{0max}	при T_{0min}
0,00023	0,035	0,007	0,028	0,000005	36,2	36,2	6073555	6071585
0,00036	0,056	0,017	0,038	0,000009	36,3	36,3	3884926	3881843
0,00056	0,087	0,041	0,045	0,000014	36,4	36,3	2503347	2498551
0,00079	0,123	0,083	0,039	0,000020	36,5	36,4	1780760	1773994
0,00102	0,159	0,138	0,020	0,000026	36,7	36,4	1385230	1376493
0,00116	0,180	0,179	0,001	0,000030	36,8	36,5	1221775	1211840

На основании данных табл. 2 получена графическая интерпретация зависимости $e_y = f(d)$ (рис. 2).

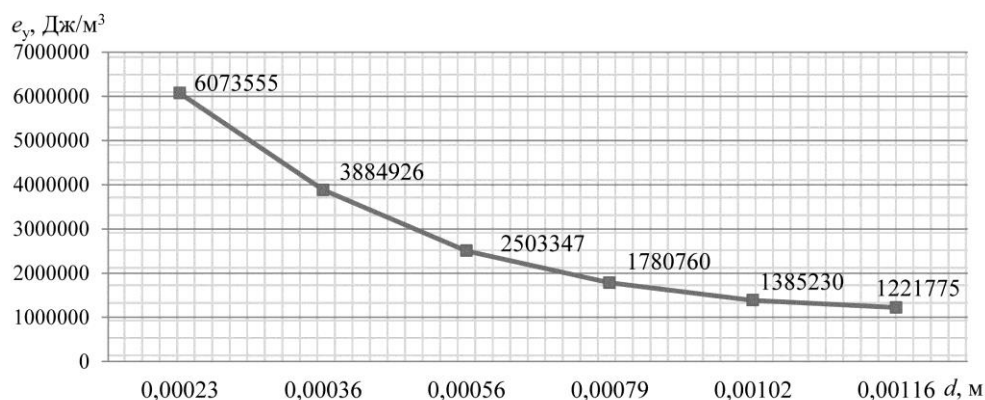


Рис. 2. Зависимость удельных энергозатрат функционирования струн от их диаметра

Fig. 2. The dependence of specific energy consumption of strings operation from strings diameter

Анализ табл. 2 и рис. 2 показал, что для создаваемой конструкции рабочего органа измельчителя напочвенного покрова целесообразно выбрать струну 6 диаметром 0,00116 м (см. с. 128).

Заключение

Поставленная задача оптимизационного исследования решена. Экспериментально было установлено оптимальное значение частоты вращения ротора, которое составило 550 об/мин. При этом значение удельных энергозатрат струны на единицу производительности измельчения минимально у струны 6 диаметром 0,00116 м при минимальном ее натяжении на роторе.

В настоящее время осуществляется изготовление действующего макетного образца агрегата для измельчения напочвенного покрова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков В.В., Зикунев Е.П., Ивлев М.Е., Ткашелашивили Н.Н. Мини-тракторы / под ред. В.В. Буркова. Л.: Машиностроение, 1987. 272 с.
2. Коришун В.Н. Нагрузки роторных рабочих органов с шарнирно-прикрепленными измельчающими элементами // Повышение технического уровня и качества машин для лесозаготовок и лесного хозяйства. Л.: ЛТА, 1985. С. 43–47.
3. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2006.
4. Мясищев Д.Г. Механизация лесохозяйственных работ агрегатами на основе специализированного мотоблока: моногр. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 206 с.
5. Мясищев Д.Г. Мотоблоки в лесном комплексе: состояние, тенденции, перспективы: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2008. 129 с.
6. Мясищев Д.Г. Моделирование и оптимизация параметров компонентов лесных машин: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2014. С. 104.
7. Мясищев Д.Г. Статистическая динамика машин и оборудования лесного комплекса (в примерах): учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2017. 115 с.
8. Трегубов О.В., Кочергина М.В., Фурменкова Е.С., Припольцева А.С. Видовое разнообразие и состояние насаждений лесопарковой зоны в северном микрорайоне городского округа город // Лесн. журн. 2014. № 3. С. 61–63. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Яхяев Д.Б., Мясищев Д.Г. Обоснование совершенствования технологий для содержания городских придорожных территорий // Изв. СПбЛТА. 2017. Вып. 221. С. 229–237.
10. Lagrange J.L. Analytical Mechanics / trans. by V.N. Vagliente, A. Boissonnade. Dordrecht, Netherlands: Springer, 1997. 594 p. (In Fr.)
11. Routh E.D. An Elementary Treatise on the Dynamics of a System of Rigid Bodies: With Numerous Examples. 3rd ed. London: Macmillan, 1877. 564 p.
12. Shirmeshan A. Design of Vacuum Section of a Leaf Collector Machine // Annals of Faculty Engineering Hunedoara. 2012. Vol. 10, iss. 3. Pp. 225–228. Режим доступа: <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2012/ANNALS-2012-3-36.pdf> (дата обращения 01.11.2012).
13. Spinelli R., Cavallo E., Eliasson L., Facello A. Comparing the Efficiency of Drum and Disc Chippers // Silva Fennica. 2013. Vol. 47, no. 2, article id 930. Pp. 1–11. Режим доступа: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article930.pdf> (дата обращения 18.06.2013).

Поступила 15.03.18

UDC 634.0.332.1.002.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.126

Estimation of Grinding the Ground Cover by a String*D.G. Myasishchev¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor**D.B. Yahyayev¹, Postgraduate Student**V.S. Morozov², Doctor of Engineering Sciences, Professor*

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: d.myasishchev@narfu.ru, dilmurad-92@mail.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 22, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.morozov@narfu.ru

The necessity of intensification of a set of processes in the branches of agriculture and forestry requires the creation of new equipment and innovative technological schemes. There is a crisis in the sphere of construction of forestry equipment in Russia. Machinery park is decreasing. The import ratio is increasing. In the sphere of grinding the ground cover (leaves) the development of technical solutions is aimed at reducing labor costs from one hand and development of grinding equipment and technologies which promotes reducing energy intensity of grinding process from the other. The theoretical component of leaf grinding by a flexible string, the power balance of the process and the expanded energy optimization by increasing of transverse oscillation energy with optimal rotor speed are considered in the article. We used a set of guitar strings as string-choppers in our experiment. It was taken into account that the manufacturing technology of a string assumes the presence of corresponding vibrations from an external perturbation influence. In our case this effect is provided by the periodic interaction between the string and the material being treated. It bears mentioning that the research statement is the basis for advanced consideration of the ground cover destruction process with the provision of strings resonance oscillations depending on their design parameters and kinematics of the working tool. In the framework of further development it is recommended to use it in forest park and urban roadside areas.

Keywords: grinding the ground cover, angle of grinding, flexible string, string tension, relative string elongation, energy balance.

REFERENCES

1. Burkov V.V., Zikunov E.P., Ivlev M.E., Tkashelashvili N.N. *Mini-traktory* [Mini Tractors]. Ed. By V.V. Burkov, Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1987. 272 p. (In Russ.)
2. Korshuchn V.N. Nagruzki rotornykh rabochikh organov s sharnirno-prikreplennymi izmel'chayushchimi elementami [Loadings of Rotary Tools with Hinged Grinding Elements]. *Povysheniye tekhnicheskogo urovnya i kachestva mashin dlya lesozagotovok i lesnogo khozyaystva* [Improving the Technical Level and Quality of Vehicles for Logging and Forestry]. Leningrad, LTA Publ., 1985, pp. 43–47.
3. Marchik T.P., Efremov A.L. *Pochvovedeniye s osnovami rasteniyevodstva: ucheb. posobiye* [Soil Science with the Basics of Horticulture: Educational Textbook]. Grodno, GrGU Publ., 2006. (In Russ.)

For citation: Myasishchev D.G., Yahyayev D.B., Morozov V.S. Estimation of Grinding the Ground Cover by a String. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 126–134. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.126

4. Myasishchev D.G. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh работ agregatami na osnove spetsializirovannogo motobloka*: monogr. [Mechanization of Forestry Works by Aggregates Based on a Specialized Two-Wheel Tractor. Monography]. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2005. 206 p. (In Russ.)

5. Myasishchev D.G. *Motobloki v lesnom komplekse: sostoyaniye, tendentsii, perspektivy*: ucheb. posobiye [Two-Wheel Tractors in the Forest Complex: Status, Trends, Prospects. Educational Textbook]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 129 p. (In Russ.)

6. Myasishchev D.G. *Modelirovaniye i optimizatsiya parametrov komponentov lesnykh mashin*: ucheb. posobiye [Modeling and Optimization of Parameters of Forest Machine Components. Educational Textbook]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2014, p. 104. (In Russ.)

7. Myasishchev D.G. *Statisticheskaya dinamika mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa (v primerakh)*: ucheb. posobiye [Statistical Dynamics of the Forest Complex Machines and Equipment (with Examples). Educational Textbook]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2017. 115 p. (In Russ.)

8. Tregubov O.V., Kochergina M.V., Furmenkova E.S., Pripol'tseva A. S. Vidovoye raznoobraziye i sostoyaniye nasazhdeniy lesoparkovoy zony v severnom mikrorayone gorodskogo okruga gorod [Species Diversity and Condition of Plantations of the Forest Park Zone in the Northern Community of the City District]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2014, no. 3, pp. 61–63.

9. Yahyayev D.B., Myasishchev D.G. Obosnovaniye sovershenstvovaniya tekhnologiy dlya sodержaniya gorodskikh pridorozhnykh territoriy [Objectivation of Improvement the Technologies for Maintenance of Urban Roadside Areas]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotechnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2017, no. 221, pp. 229–237.

10. Lagrange J.L. *Analytical Mechanics*. Trans. by V.N. Vagliente, A. Boissonnade, Dordrecht, Netherlands, Springer, 1997. 594 p. (In Fr.)

11. Routh E.D. *An Elementary Treatise on the Dynamics of a System of Rigid Bodies: With Numerous Examples*. 3rd ed. London, Macmillan, 1877. 564 p.

12. Shirmeshan A. Design of Vacuum Section of a Leaf Collector Machine. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 2012, vol. 10, iss. 3, pp. 225–228. Available at: <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2012/ANNALS-2012-3-36.pdf> (accessed 01.11.2012).

13. Spinelli R., Cavallo E., Eliasson L., Facello A. Comparing the Efficiency of Drum and Disc Chippers. *Silva Fennica*, 2013, vol. 47, no. 2, article id 930, pp. 1–11. Available at: <https://www.silvafennica.fi/pdf/article930.pdf> (accessed 18.06.2013).

Received on March 15, 2018

УДК 634.0.36

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАЛОЦЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РУБКАХ УХОДА

С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail:orlovskiysergey@mail.ru

Актуальной проблемой лесного хозяйства является измельчение малоценных деревьев при рубках ухода за лесом, обрезке зеленых насаждений, очистке лож затопляемых водохранилищ гидроэлектростанций. В связи с тем, что экономическая эффективность данных мероприятий зависит от реализации древесины, измельчению древесины уделяется мало внимания. При рубках ухода в основном используется существующая лесозаготовительная техника. Обрезка зеленых насаждений, как правило, не предусматривает измельчения веток, производится только их вывозка. Также не разработаны технологии ликвидации малоценной древесины от вторичного зарастания после сплошных рубок при затоплении лож водохранилищ. Отсюда следует, что определение оптимальных конструктивных параметров орудий и агрегатов для измельчения малоценной древесины при перечисленных выше видах работ, а также режимов их работы актуально. Целью исследований является выбор конструкции рабочего органа для измельчения малоценных деревьев с обоснованием компоновки орудий и агрегатов, обеспечивающих выполнение поставленной задачи. Программа исследований предусматривала: исследование усилий резания древесины в зависимости от угла скольжения ножа и затрат мощности на его привод; расчет производительности транспортных средств при вывозке веток от обрезки зеленых насаждений по базовой и предлагаемой технологиям; обоснование энергетических и динамических параметров агрегата для измельчения древесных стволов на чурки при очистке лож водохранилищ. Эксперименты проводились на тензометрическом стенде и теоретически с использованием созданной автором компьютерной программы «Dina-2», что еще на стадии проектирования позволило обосновать параметры агрегата, конструкцию его рабочего органа и режимы его работы. На основании полученных результатов можно предложить конструкцию и компоновку лесохозяйственных орудий и агрегатов для измельчения малоценной древесины с рабочим органом в виде улиткообразного ножа, определить мощностные и динамические параметры устройства, что будет способствовать увеличению производительности труда и снижению энергетических затрат на выполнение технологического процесса.

Ключевые слова: рубки ухода, мотоинструмент, сосновые молодняки, измельчение, скользящее резание, бесповальное измельчение.

Введение

Одна из актуальных проблем лесного хозяйства – измельчение малоценных деревьев. В Сибири более 94 млн га лесов нуждаются в рубках ухода. В связи с тем, что густота молодняков достигает нескольких десятков

Для цитирования: Орловский С.Н. Измельчение малоценной древесины при рубках ухода // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 135–150. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

тысяч деревьев на 1 га, возникают затруднения при передвижении и взаимодействии с вырубаемыми деревьями крупногабаритных машин и их рабочих органов. В группах и куртинах деревья нередко размещены так близко друг к другу, что даже срубленные продолжают стоять вертикально. Поэтому на извлечение из древостоя вырубленных деревьев для разделки или на их приземление для перегнивания затрачиваются дополнительные усилия и время. Поэтому необходимо использовать ручные мотоинструменты, обеспечивающие на рубках ухода высокую маневренность [2, 4, 8].

Обрезка деревьев в условиях городского зеленого хозяйства достаточно механизирована, одной из проблем при выполнении данной операции является вывоз обрезанных веток. Ввиду их малой плотности не обеспечивается загрузка автомобиля до номинальной грузоподъемности, что приводит к излишнему числу рейсов [1].

Аналогичные проблемы возникают и при очистке лож водохранилищ на реках Сибири. Очистка лож водохранилищ (например, Богучанская гидроэлектростанция на р. Ангара) от вторичного зарастания после проведенных более 20 лет назад сплошных рубок характеризуется неэффективным использованием существующей лесозаготовительной техники в насаждениях [3].

Перед нами стояли следующие задачи: обоснование возможности использования силового скользящего резания для измельчения древесины, которое при небольших затратах мощности и габаритах устройства позволит достигать высокой производительности с минимальными затратами механической энергии на выполнение технологического процесса; анализ процесса резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, установленным под углом к приводному валу внутри разомкнутого цилиндрического кожуха; обоснование конструкции устройства для измельчения древесины и технологии его применения.

Целью исследований является выбор конструкции рабочего органа для измельчения малоценных деревьев с обоснованием компоновки орудий и агрегатов, обеспечивающих выполнение поставленных задач.

При этом необходимо исследовать влияние конструктивных особенностей орудий и агрегатов на эффективность технологического процесса. Экспериментальные исследования выполнены на созданном с участием автора стенде и макетном образце бесповального измельчителя для рубок ухода [8].

Объекты и методы исследования

В связи с тем, что экономическая эффективность рубок ухода зависит от реализации древесины, молоднякам, и особенно технологии ухода за ними, уделяется мало внимания. Использование ручного мотоинструмента позволяет применять более гибкую технологию рубок ухода в молодняках, однако это не избавляет работающих от значительных мускульных усилий. В итоге комплексная производительность труда остается низкой [2, 4].

Диаметр среза деревьев, вырубаемых при рубках ухода в сосновых молодняках II класса возраста, в среднем составляет 5...6 см. Масса вырубаемых деревьев с кронами в молодняках Сибири не более 15...20 кг. Следовательно, предмет труда (убираемые деревья) в значительной степени однороден,

что очень важно при проектировании рабочих органов машин для рубок ухода. Деревья, вырубаемые при рубках ухода в молодняках, в переработанном виде обычно захламляют лесосеки, что способствует возрастанию пожарной опасности в насаждениях.

При обрезке зеленых насаждений в городах ветви вывозятся для утилизации в кузовах автомобилей при их загрузке менее 20 % от номинальной грузоподъемности. Для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений применяются специальные измельчители, но они весьма энергоемки и не могут агрегатироваться с вывозящим ветви автомобилем, являясь отдельной транспортной единицей, прицепной или навешиваемой на трактор.

В процессе очистки ложа водохранилища (Богучанская гидроэлектростанция на р. Ангара) от вторичного зарастания, представленного древостоями III бонитета со средним объемом хлыста $0,14 \text{ м}^3$ при запасе леса $176 \text{ м}^3/\text{га}$, доставка машин и механизмов к месту проведения лесочистки и транспортировка готовой продукции потребителям осуществляются на баржах. После обрезки сучьев древесина подается на баржу, где хлысты дробятся рубильной машиной на щепу, транспортируемую к местам переработки [3]. Данная технология неэффективна, так как имеет место низкая производительность и высокая трудоемкость технологического процесса. Недостатком данной технологии является и размер фракции щепы (мелкая), которая при ветре попадает с баржи в водохранилище.

Основные вопросы обоснования наиболее эффективных конструкций и режимов работы машин для измельчения тонкомерных деревьев и лесосечных отходов следующие:

- выбор оптимальной по критерию минимума энергоемкости конструкции рабочего органа для измельчения лесосечных отходов;
- обоснование компоновки механизма и технологии его применения;
- определение режимов резания и производительности проектируемого агрегата.

Существующее оборудование для измельчения тонкомерных деревьев и лесосечных отходов достаточно разнообразно. Оно включает механизмы как с двигателями внутреннего сгорания, так и с электрическими, а также с приводом от вала отбора мощности колесного трактора. Продукты резания могут разбрасываться, поступать в кузов автомобиля, собираться в специальный контейнер. Выполнение механизмов навесное или прицепное. Однако их использование в сосново-лиственном молодняке 10–15-летнего возраста, насчитывающем в среднем 17 тыс. деревьев на 1 га, связано с затрудненным проездом агрегата к месту работы. Оставляемые на дорашивание деревья могут быть повреждены. Возникает необходимость выноса древесных стволов с кроной до разделочной площадки, где отходы от резания будут образовывать опасные в пожарном отношении кучи.

Рабочие органы машин, использующие принцип скользящего силового резания древесины, применяются в фрезерных лесопожарных полосопрокладывателях [6, 7], в измельчителях для тонкомерных деревьев они не встречаются. Лучшие существующие аналоги агрегатов для измельчения древесины (в том числе при уходах за зелеными насаждениями в городах) представлены в таблице.

Техническая характеристики измельчителей малоценной древесины

Характеристика	Scorpion 120 R	Scorpion 160 SD	QFS-80	ИБН-0/160	ТорнадоВ 200	СРТ-130	ТР 100	BOXER CP5-13	Laski LS51/CH
Диаметр измельчаемой древесины, мм	120	160	80	160	200	130	100	200	51
Мощность привода, кВт	44	28	9,6	20	26	20	11...30	20...60	5,2
Масса, кг	560	900	320	–	782	–	195	–	88
Производительность, м ³ /ч	12	16	–	5	–	–	3...10	5	0,9...1,3
Энергоёмкость, кВт·ч/м ³	3,67	1,75	–	4,0	–	–	3,67	4,00	4,00

Все приведенные выше модели измельчителей оборудованы радиально установленными на массивном диске ножами, осуществляющими прямое (рубящее) резание. Конструкций измельчителей, основанных на принципе скользящего силового резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, не встречается.

Применение на рубках ухода в молодняках легкого переносного ручного мотоинструмента для бесповального измельчения тонкомерных деревьев несомненно актуально. Для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений предлагается использовать располагаемый в кузове измельчитель с приводом от гидросистемы автомобиля, который бы по своим технико-экономическим показателям превосходил существующие орудия для измельчения срезанных ветвей, имел меньшую энергоёмкость, обеспечивал низкую себестоимость работ, повышение загрузки транспортных средств и, как следствие, снижение количества поездок на вывозке древесных отходов.

При очистке лож водохранилищ также можно установить на барже режущее устройство, позволяющее разделять стволы мелколесья на чурки силовым скользящим резанием.

Результаты исследования и их обсуждение

Измельчение растущих деревьев. Измельчение растущих деревьев может быть осуществлено подачей древесного ствола в неподвижный измельчитель. При этом дерево не надо срубить и транспортировать, продукты резания в виде коротких отрубков должны разбрасываться по поверхности почвы и оставаться на перегнивание. Из распространенных способов резания древесины наиболее приемлемо силовое скользящее резание, которое позволяет при небольших затратах мощности и габаритах устройства достигать большой частоты перерезания и, следовательно, высокой производительности [6–8, 10]. Его преимущества наглядно демонстрируют графики, приведенные на рис. 1.

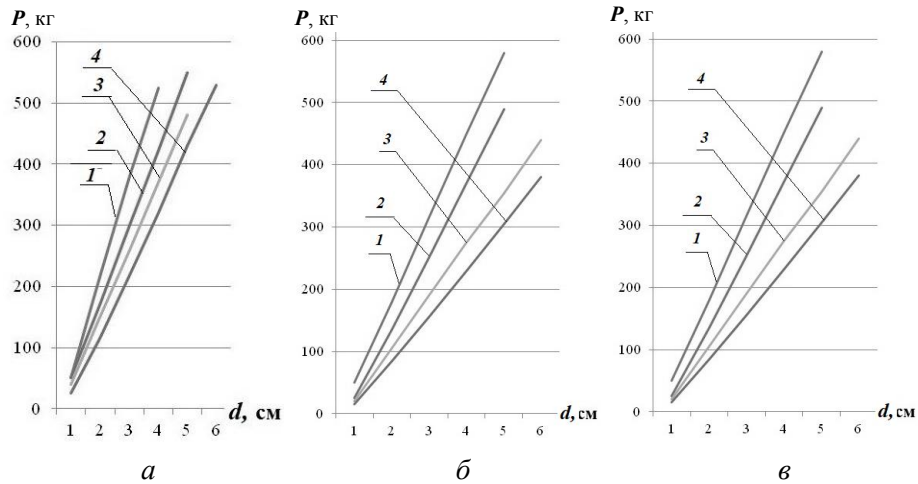


Рис. 1. Усилия резания древесины плоским ножом: *a* – береза, *б* – осина, *в* – сосна; *1* – торцовое резание; *2–4* – резание при скольжении ножа под углом соответственно 10° ; $22^\circ 30'$ и 36°

Fig. 1. Flat knife cutting force: *a* – birch, *б* – aspen, *в* – pine; *1* – end-grain cutting; *2–4* – cutting with a knife sliding at an angle of 10° ; $22^\circ 30'$ and 36°

Усилия протягивания ножа определены на тензометрическом стенде. Установлено, что усилие прямо зависит от угла скольжения.

Для измельчения деревьев с одновременной подачей ствола вниз было предложено устройство, имеющее нож улиткообразной формы с заостренной наружной кромкой [9]. Нож в форме логарифмической спирали устанавливается под углом к валу, дерево опирается на опорный цилиндрический и прижимные конические ролики. Бесповальное измельчение достигается вращением улиткообразного ножа внутри разомкнутого цилиндрического кожуха (рис. 2).

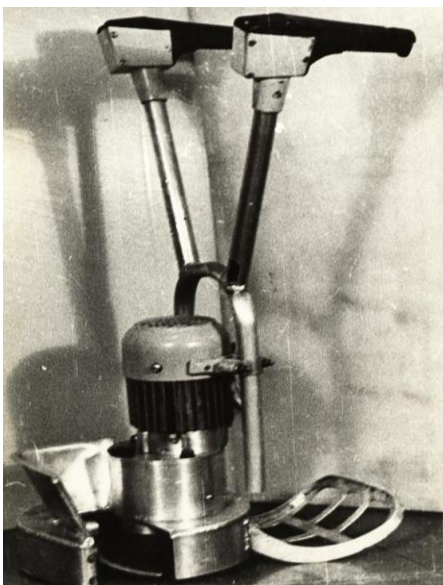


Рис. 2. Бесповальный измельчитель для рубок ухода

Fig. 2. Non-felling chipper for improvement thinnings

Технические характеристики бесповального измельчителя:

Электродвигатель – мощность 3,5 кВт; напряжение – 220 В; частота – 400 Гц; частота вращения – 24 000 мин⁻¹.

Нож – материал сталь 30 ХГСА или 40Х; частота вращения – 325 мин⁻¹; форма режущей кромки – логарифмическая спираль; прижим – ролики консольные конические; упор – ролик цилиндрический.

Шнек – одновитковый; диаметр наружный – 170 мм, внутренний – 50 мм.

Скорость резания – 0,53 м/с; производительность резания – 140 см²/с; время резания – 5,5 рез./с.

Диаметр обрабатываемого дерева – 3...4 см, высота дерева ≈ 3,2 м.

Масса орудия – 16 кг.

Производительность – 180...220 дер./ч.

Энергоемкость технологического процесса ≈ 2,37 кВт·ч/м³.

В кожухе смонтировано подающее устройство, состоящее из двух конических роликов, являющихся одновременно противоножами, и цилиндрического ролика – упора. Измельчитель подводится к основанию дерева разомкнутой стороной кожуха, ствол захватывается вращающимся ножом и заклинивается между ним и роликами-противоножами. Режущая кромка в процессе вращения ножа внедряется в древесину и перерезает ствол, одновременно перемещая его вниз улиткообразным ножом-шнеком и коническими роликами. Вследствие непрерывной подачи древесный ствол перерезается на отрубки, длина которых равна шагу витка ножа. При соответствующих расчетах было принято во внимание, что при перерезании тонкомерных древесных стволов на отрубки небольшой длины древесина скалывается вдоль волокон и в результате этого требуется меньшее усилие. Для достижения приемлемой производительности на измельчение тонкомерного дерева затрачивается 20...25 с при шаге витка ножа не более 50 мм, что обеспечивает лучшее скалывание и резание с минимальным усилием. Частота вращения ножа должна быть не менее 320 мин⁻¹, скорость измельчения древесного ствола – 30 см/с.

Для эксперимента был изготовлен образец устройства с улиткообразным ножом, имеющим шаг витка 40 мм и угол скольжения кромки ножа 10°. Рассчитано устройство на измельчение стволиков диаметрами и не более 60 мм [1, 8].

В качестве привода первоначально использовался двигатель бензопилы «Дружба-4», конструкция которого была изменена добавлением второго цилиндра для достижения требуемой мощности. Измельчитель показал высокую производительность и удобство в работе, однако ввиду применения несертифицированного двигателя пришлось внести изменения в конструкцию, которая предполагала использование стандартного электродвигателя электропилы с питанием от агрегата для рубок ухода в молодняках – АРУМ. Недостаток конструкции АРУМа: моторист имеет меньше свободы перемещения по площади молодняка. Он вынужден разматывать кабель и по мере приближения к технологическому коридору периодически наматывать его обратно на барабан [8]. Кабель при этом часто заклинивает между деревьями и кустарниками. В настоящее время имеется большой ряд двигателей бензопил требуемой мощности для возрождения предлагаемого орудия.

Производительность измельчения определялась в сосново-лиственном молодняке 10–15-летнего возраста, насчитывавшем около 17 тыс. дер./га. В среднем на измельчение дерева затрачивалось 20...27 с [8, 10–12].

Эксперимент показал, что древесину в измельченном виде можно оставлять для перегнивания. Захламления лесосеки в этом случае не происходит, пожарная опасность не увеличивается, так как отрубки древесных стволов и крон, соприкасаясь с почвой, быстро разлагаются. Немаловажное достоинство бесповального измельчения состоит в том, что оставляемые на доращивание деревья не повреждаются. При этом отпадает необходимость в операциях выноса древесного ствола с кроной до разделочной площадки или к месту окучевания.

Измельчение веток при обрезке зеленых насаждений. На описанном выше принципе основано разработанное автором орудие для измельчения веток при обрезке зеленых насаждений в городах. Оно состоит из разомкнутого цилиндрического кожуха, цилиндрического одноступенчатого редуктора, гидравлического двигателя, опорного устройства, подающего приспособления в виде роликов, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях, ножевого рабочего органа с режущей кромкой, выполненной по логарифмической спирали.

Орудие агрегируется с автомобилем-самосвалом любой модели посредством установки на него гидрораспределителя, разрывных муфт и рукавов высокого давления для соединения гидронасоса с орудием. Чертеж орудия и его установка на автомобиле представлены на рис. 3.

Орудие работает следующим образом: базовый автомобиль прибывает на место обрезки, оператор вместе с водителем устанавливает орудие в кузове; водитель заводит двигатель автомобиля и переключает гидрораспределитель на привод рабочего органа орудия; двое грузчиков собирают и подают ветки в кузов самосвала; оператор в кузове направляет ветки в орудие, режущий орган перерезает ветки на отрезки длиной, равной шагу витка ножа, с непрерывной подачей вдоль оси вращения; оператор распределяет измельченные отрезки по кузову самосвала.

Расчет времени, затраченного на погрузку веток, их выгрузку, и времени рейса по базовому и проектному вариантам показывает, что применение этого орудия сокращает затраты на перевозку примерно в 3,5 раза [1]. Срок окупаемости составляет 0,8 года.

Тангенциальная сила (H), действующая на нож, определяется по следующей формуле [6]:

$$F_{\tau} = d k, \quad (1)$$

где d – диаметр перерезаемого ствола, м;

k – коэффициент резания.

Сила (H), действующая по нормали,

$$F_{\text{н}} = F_{\tau} \sin \alpha, \quad (2)$$

где α – угол наклона ножа, ...°.

Расчет крутящего момента ($H \cdot м$) на привод ножа производится по формуле

$$M_{\text{п}} = r F_{\text{н}}, \quad (3)$$

где r – радиус ножа в зоне резания, м.

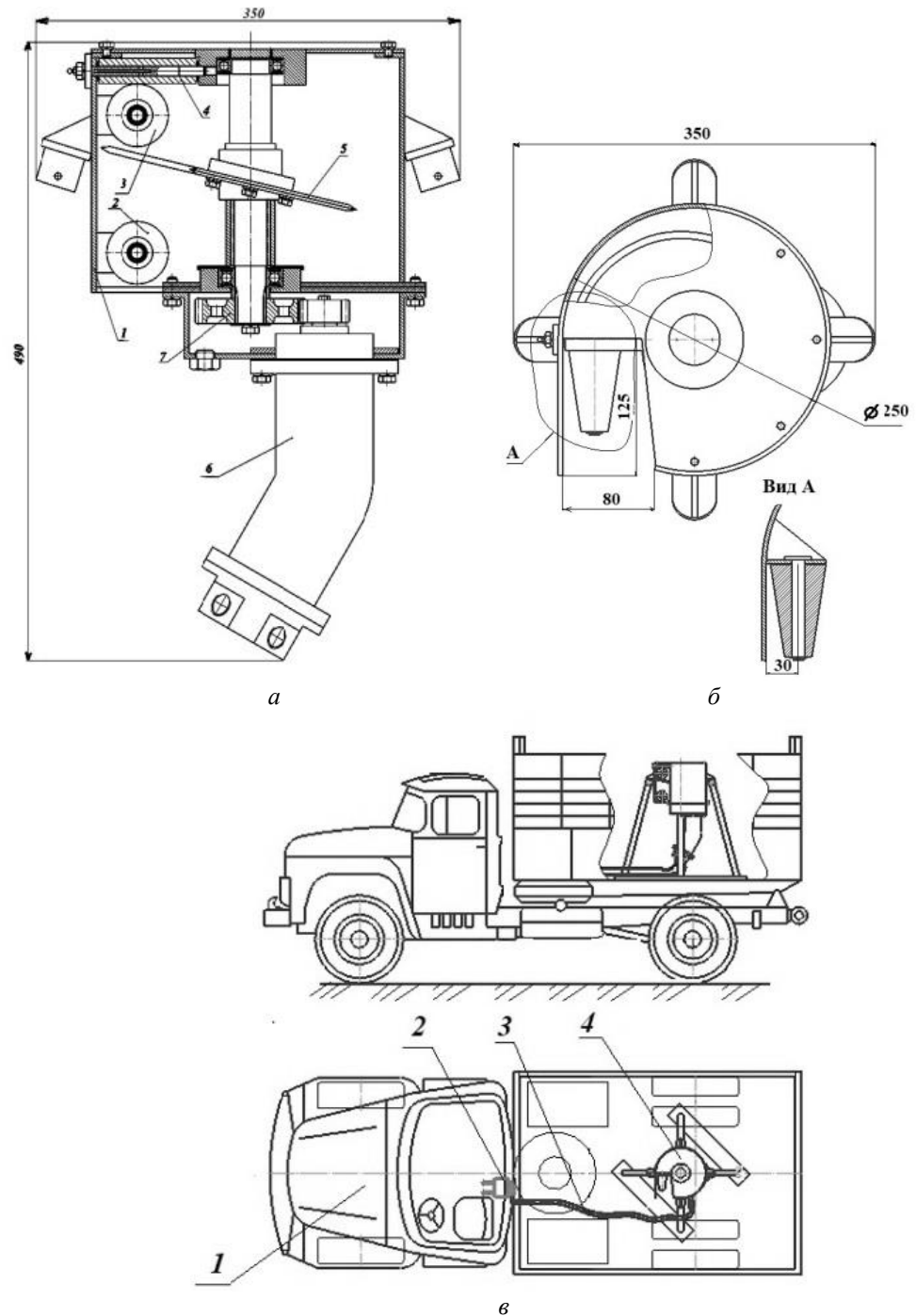


Рис. 3. Чертеж рабочего органа измельчителя веток: *а* – вид сбоку (*1* – корпус, *2, 3* – ролики конические, *4* – ролик цилиндрический, *5* – нож, *6* – гидродвигатель, *7* – редуктор); *б* – вид сверху; *в* – общий вид установки на автомобиле (*1* – автомобиль, *2* – гидрораспределитель, *3* – шланги, *4* – измельчитель)

Fig. 3. Structural drawing of a working member of branches chipper: *a* – side view (*1* – body, *2, 3* – tapered rollers, *4* – plain rollers, *5* – knife, *6* – hydraulic engine, *7* – reduction gear); *б* – top view; *в* – general view of the installed equipment on the car (*1* – car, *2* – hydraulic distributor, *3* – hoses, *4* – chipper)

Выбирая гидронасос НШ-32 и гидродвигатель 210.16, при передаточном числе редуктора 2,5 получаем частоту вращения рабочего органа 325 мин^{-1} . Затраты мощности на привод орудия принимаем из условия работы двигателя базовой машины на холостом ходу при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1000 мин^{-1} .

Часовая производительность орудия ($\text{м}^3/\text{ч}$) находится по формуле [7]:

$$W_q = \pi R^2 h W_{\text{шт}}, \quad (4)$$

где R – радиус измельчаемых ветвей, м;

h – длина ветви, м;

$W_{\text{шт}}$ – производительность орудия, шт./ч.

Объем (м^3) перевозимого груза [1]:

$$Q = M / K, \quad (5)$$

где M – масса перевозимого груза, т;

K – коэффициент объемной массы веток, $\text{кг}/\text{м}^3$ (для веток, устанавливаемых в кузов вертикально, $K = 300 \text{ кг}/\text{м}^3$; для – веток, нарубленных на отрезки длиной 5...7 см, $K = 700 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Для базового варианта $Q = 19,0 \text{ м}^3$, для проектного – $8,1 \text{ м}^3$.

Определим количество рейсов, необходимое для вывозки срезанных со 100 деревьев веток массой 5700 кг:

$$N = Q / V, \quad (6)$$

где V – объем кузова автомобиля ЗиЛ, м^3 .

Для базового варианта $N \approx 2$, для разработанного – $N \approx 1$.

По цене орудие доступно для предприятий зеленого хозяйства. Окупаемость его достигается за счет повышения загрузки транспортного средства. При использовании предлагаемого орудия количество рейсов, необходимых для вывозки обрезанных веток, а также их объем уменьшаются в 2–3 раза, что сокращает затраты на транспортировку и захоронение отходов.

Кроме того, измельченные ветки можно отправлять на дополнительную переработку в целях получения брикетированного топлива либо, предварительно высушив, использовать напрямую в качестве топлива.

Измельчение малоценной древесины при очистке ложа водохранилищ (на примере разработки технологии очистки ложа водохранилища Богучанской гидроэлектростанции на р. Ангара от вторичного зарастания после проведения сплошных рубок, которые производились более 20 лет назад). Применение существующей лесозаготовительной техники в насаждениях с объемом хлыста $0,14...0,16 \text{ м}^3$ неэффективно [3]. Необходимы новые подходы к разработке машин и технологий, обеспечивающих выполнение этой задачи.

Нами предлагается новая технология лесоочистки. После срезки деревьев и укладки их в пачки по трассам движения форвардеров производится срезка пней, что позволяет осуществлять вывозку хлыстов с большими скоростями движения ввиду снижения динамических нагрузок на лесовозный транспорт [7]. Срезанные деревья грузятся манипулятором гусеничного форвардера «Онежец» ТБ-1 МА-16 на его грузовую платформу и транспортируются к месту разгрузки нижнего склада возле установленных на временной стоянке плавучего подъемного крана КПЛ–50-30 и двух барж типа 183-Щ. Там фор-

вардер разгружается, древесину очищают от сучков и кроны с помощью сучкорезной машины ЛП-30Б. После обрезки сучьев древесина подается на баржу грейфером плавучего крана: сортименты грузятся на баржу (1), мелколесье и вершины хлыстов – на баржу (14) в предлагаемую автором режуще-погрузочную установку. Раскладка чурочек на барже осуществляется с помощью конвейерной ленты и поворотного механизма. После загрузки буксир транспортирует баржу к месту разгрузки, а к нижнему складу пришвартовывается следующая баржа. С помощью плавучего крана установка переставляется на нее. Схема очистки ложа водохранилища представлена на рис. 4.

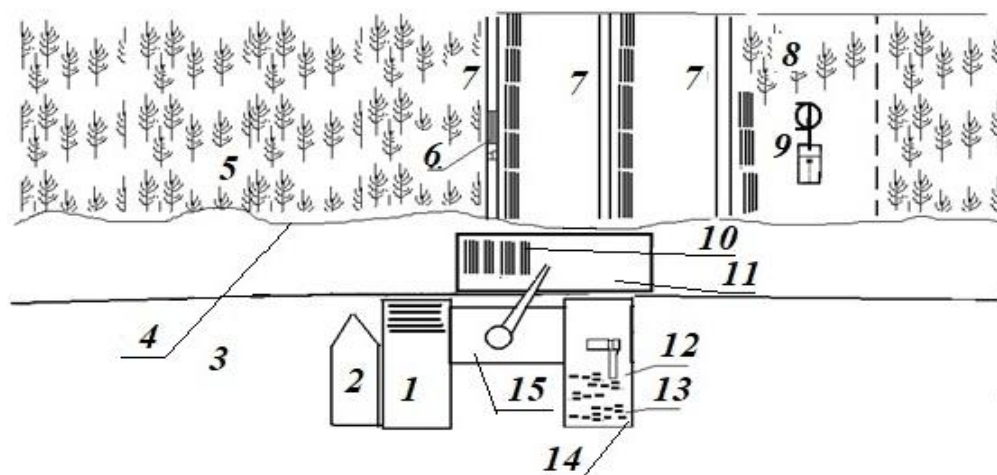
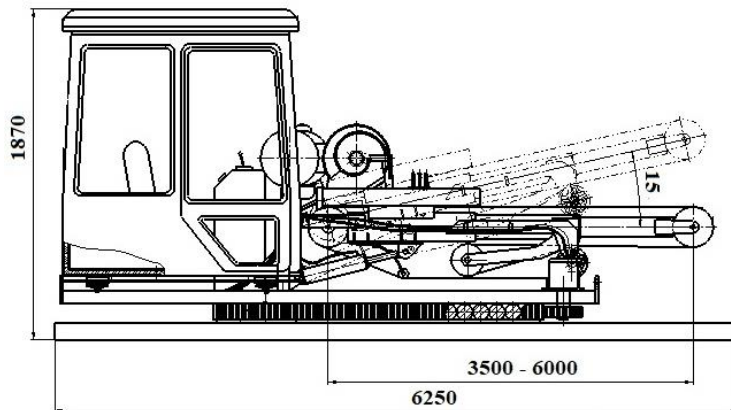


Рис. 4. Технологическая схема повторной лесоочистки по проектируемому варианту: 1, 14 – баржа; 2 – буксир; 3 – акватория водохранилища; 4 – береговая линия водохранилища; 5 – зона, подлежащая повторной лесоочистке; 6 – форвардер; 7 – пачки леса после прохода валочной машины; 8 – разрабатываемая пасаека; 9 – ЛП-19В с оборудованием для валки мелкого леса и сбора пачек; 10 – хлысты на разделке бензопилами; 11 – временный нижний склад; 12 – установка для резки хлыстов на чурки; 13 – топливные чурки на барже; 15 – плавучий кран

Fig. 4. Technological scheme of repeated reforestation according to the project version: 1, 14 – barge; 2 – tug; 3 – reservoir water area; 4 – reservoir shoreline; 5 – area to be reforested; 6 – forwarder; 7 – packages of wood after cutting by tree felling machine; 8 – forest swath under processing; 9 – ЛП-19В with equipment for small forests felling and collecting packages; 10 – tree logs under log conversion by motor saw; 11 – temporary low landing; 12 – equipment for cutting logs into chocks; 13 – fuel chocks on a barge; 15 – floating crane

Проектная режуще-погрузочная установка представляет собой раму, на которой стоит приводимый во вращение двигателем внутреннего сгорания улиткообразный нож с подведенными к нему двумя конвейерными лентами. Одна лента предназначена для подачи хлыстов на нож, вторая принимает разрезанные чурки и раскладывает их по барже. Проектная установка представлена на рис. 5.



Кинематическая схема изменения длины транспортёра

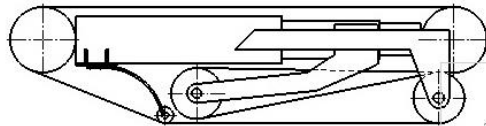
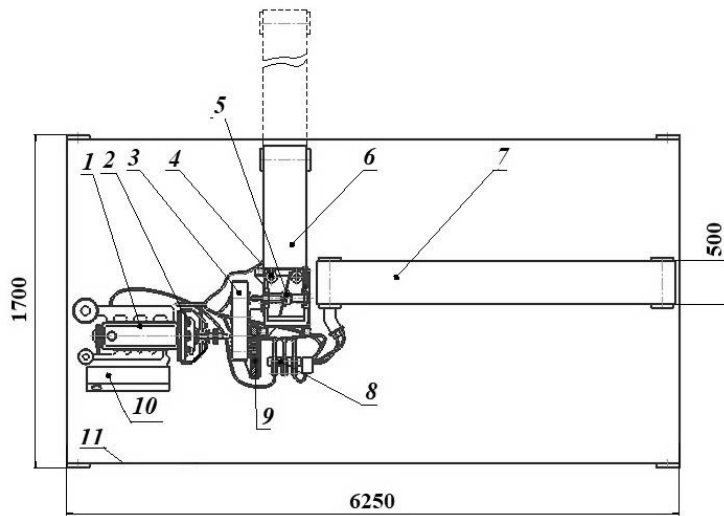
*a**б*

Рис. 5. Проектная установка для резки стволов на чурки и их погрузки: *a* – вид сбоку, *б* – вид сверху; 1 – двигатель Д-243; 2 – муфта сцепления; 3 – редуктор; 4 – конический ролик; 5 – режущий нож; 6 – выходная конвейерная лента; 7 – подающая конвейерная лента; 8 – пульт управления; 9 – маховик; 10 – топливный бак; 11 – поворотное основание

Fig. 5. Project equipment for cutting trunks into chocks and their loading: *a* – side view, *б* – top view; 1 – engine Д-243; 2 – clutch; 3 – reduction gear; 4 – tapered rollers; 5 – cutting knife; 6 – output conveyor belt; 7 – feed conveyor belt; 8 – control panel; 9 – fly-wheel; 10 – fuel tank; 11 – swivel base

Техническая характеристика проектной установки:

Скорость транспортера.....	1,26 м/с
Мощность двигателя Д-243.....	58,8 кВт
Масса	3500 кг
Скорость резания.....	1,9 м/с
Диаметр перерезаемых стволов.....	≤0,3 м
Гидромотор привода транспортера подачи.....	210,20
Гидромотор транспортера отбрасывания.....	MP-450
Обслуживающий персонал.....	1 оператор, 2 накатчика

Суммарное усилие, действующее на нож радиусом 0,35 м, превышает крутящий момент двигателя с учетом передаточного числа редуктора, однако при наличии в трансмиссии привода ножа дополнительного маховика, вращающегося с частотой 9000 мин⁻¹, появляется возможность использовать его динамическую реакцию для преодоления перегрузок [5]. Приведенный к колленчатому валу двигателя момент инерции маховика массой 70 кг составляет 8,43 кг·м².

На основании сводных данных изменения угловой скорости и углового ускорения вращающихся масс установки выполнен расчет ее динамической реакции по алгоритму, приведенному в работе [6]. За счет аккумуляции кинетической энергии во вращающихся массах установки крутящий момент двигателя возрастает в 2–3 раза, что обеспечивает разрезание ствола на чурки. Изменение момента инерции вращающихся масс в стоимостном выражении дешевле, чем применение установки с двигателем повышенной мощности.

Производительность для базового (разделка хлыстов бензопилами) и проектного (установка для силового резания хлыстов) вариантов ($B_{\text{выр.б}}$ и $B_{\text{выр.п}}$, м³/ч) рассчитывается с использованием следующих выражений:

$$B_{\text{выр.б}} = \frac{T_{\text{см}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}}}{\frac{H_{\text{бр}}}{L_{\text{д}}} T_{\text{рез}} T_{\text{пер}}} N_{\text{пильщ}} Q_{\text{бр}}; \quad (7)$$

$$B_{\text{выр.п}} = \frac{T_{\text{см}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}}}{T_{\text{ц}} T_{\text{под}}} Q_{\text{бр}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч;
 $K_{\text{исп}}$ – коэффициент использования;
 $K_{\text{т}}$ – коэффициент технологичности;
 $H_{\text{бр}}$ – высота бревна, м;
 $L_{\text{д}}$ – длина бревна, м;
 $T_{\text{рез}}$ – продолжительность резания, ч;
 $T_{\text{пер}}$ – продолжительность перехода, ч;
 $N_{\text{пильщ}}$ – число рабочих, чел.;
 $Q_{\text{бр}}$ – объем бревна, м³;
 $T_{\text{ц}}$ – время цикла, ч;
 $T_{\text{под}}$ – продолжительность подачи бревен на входную конвейерную ленту, ч.

Сменная выработка по базовой технологии составляет 14,50 м³/ч (объем работ за сезон – 13 577 м³), по проектной – 50,88 м³/ч (объем работ – 47 595 м³), что подтверждает целесообразность применения предлагаемого технического решения. Годовая экономия текущих затрат – 8 132 081 р., срок окупаемости установки – 0,1 года.

Заключение

Для бесповального измельчения растущих деревьев при выполнении рубок ухода может использоваться моторизованное орудие, работающее по принципу скользящего силового резания древесины ножом в форме логарифмической спирали, установленным под углом к приводному валу внутри разомкнутого цилиндрического кожуха с опорными роликами.

Кроме того, данный принцип резания древесины может применяться при измельчении веток от обрезки зеленых насаждений в городах. Разрезание происходит в транспортных средствах на отрезки длиной, равной шагу витка ножа, с непрерывной подачей вдоль оси вращения. При этом повышается коэффициент загрузки автомобиля, что в 2-3 раза сокращает количество его поездок и способствует уменьшению затрат на транспортировку отходов, снижению вредных выбросов и загруженности транспортных магистралей.

Применение конвейерного погрузчика с транспортером переменной длины, использующего принцип скользящего силового резания древесины, в установке для резания маломерной древесины на чурки, погрузки и укладки их на баржи при очистке ложа затопляемых водохранилищ обеспечивает повышение производительности труда в 2-3 раза, снижение капитальных вложений и экологических нарушений на территории водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов М.И., Кухар И.В. Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды: метод. указания по курсовому проектированию. Красноярск: СибГТУ, 1999. 48 с.
2. Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 184 с.
3. Корпачев В.П., Сладикова С.М., Пережилин А.И., Малинин Л.И. Оценка запасов древесной массы в водохранилище Богучанской ГЭС в процессе его подготовки и эксплуатации // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV, № 1-2. С. 173–176.
4. Лямин И.В., Белоглазов В.С. Механизированные рубки ухода с применением специальной бесчокерной лесохозяйственной колесной системы // Лесн. журн. 1972. № 6. С. 91–93. (Изв. высш. учеб. заведений)
5. Орловский С.Н. Проектирование машин и оборудования для садово-паркового и ландшафтного строительства: учеб. пособие. Красноярск, СибГТУ, 2004. 108 с.
6. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр. Красноярск, КрасГАУ, 2011. 376 с.
7. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Методика расчета энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней и режимов резания его рабочего органа // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 106–115. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn 0536-1036.2017.4.106

8. Разработать бесповальный измельчитель для рубок ухода: отчет о НИР (промежуточ.) / ВНИИМлесхоз. Красноярск, 1976. 130 с.

9. Устройство для измельчения древесины: а.с. СССР № 409686 / Заявитель ВНИИ механизации лесн. хоз-ва. 1972.

10. *Beniak J., Ondruška J., Čačko V.* Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment // *Acta Polytechnica*. 2012. Vol. 52, no. 5. Pp. 133–137.

11. *Shokripour H., Ismail W.I.W., Shokripour R., Moezkarimi Z.* Development of an Automatic Cutting System for Harvesting Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB) // *African Journal of Agricultural Research*. 2012. Vol. 7, no. 17. Pp. 2683–2688. Режим доступа: https://academicjournals.org/article/article1380883578_Shokripour%20et%20aa.pdf (дата обращения: 05.05.2012).

12. *Teggin R., Kavadiatti S., Hebbal S.* Design and Fabrication of Machine Performing Multiple Wood Working Operations // *Proceedings of NCRIET-2015 & Indian J. Sci. Res.* 2015. Vol. 12, no. 1. Pp. 162–167.

Поступила 02.04.18

UDC 634.0.36

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

Chipping of Low-Value Wood during the Improvement Thinning

S.N. Orlovskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Chipping of low-value wood during the improvement thinning, cutting the green areas and cleaning the beds of hydropower reservoirs is a topical issue of forestry. Wood chipping is paid little attention due to the dependence of economic efficiency of such processes on timber trading. Improvement thinning is primarily carried out with the help of standard forestry equipment. Cutting of green areas usually is not followed by chipping of branches. They are simply removed from the territory. There are no technologies of low-value wood disposal after regeneration of cutover stands and flowage the beds of hydropower reservoirs. Therefore it is important to specify the optimal design parameters and working modes of machines and equipment for low-value wood chipping in the outlined work activities. The aim of the research was to choose the design of the working member for chipping of low-value trees with rationale for the layout of tools and aggregates providing the goal achievement. The research program included the study of the cutting forces depending on the knife sliding angle and its gear power requirements, calculation of vehicle productiveness while transporting the cutted branches after pruning according to the basic and proposed technologies, substantiation of energy and dynamic parameters of the device designed for chipping tree trucks into chocks while reservoir cleaning. The research was

For citation: Orlovskiy S.N. Chipping of Low-Value Wood during the Improvement Thinning. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 135–150. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.135

carried out on a strain-measuring stand and by means of a “Dina-2” computer program designed by the author. This enabled substantiation of the device and its parameters, the working member design and its operation modes at the planning stage. The obtained results allowed substantiating the design and layout of forestry machines and aggregates for low-value wood chipping equipped with a snail-shaped knife, determining power and dynamic parameters of the device what makes possible to enhance the labor productiveness and decrease energy costs of the technological process.

Keywords: improvement thinning, motor instrument, pine offspring stands, chipping, slide cutting, non-felling grinding.

REFERENCES

1. Gerasimov M.I., Kukhar I.V. *Mashiny i oborudovaniye prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy: metod. ukazaniya po kursovomu proyektirovaniyu* [Machines and Equipment for Environmental Engineering and Protection. Instructional Guidelines for Writing a Term Project.]. Krasnoyarsk, SSTU Publ., 1999. 48 p. (In Russ.)
2. Davydov A.V. *Rubki ukhoda za lesom: monogr.* [Forest Improvement Thinnings. Monography]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 184 p. (In Russ.)
3. Korpachev V.P., Sladikova S.M., Perezhilin A.I., Malinin L.I. Otsenka zapasov drevesnoy massy v vodokhranilishche Boguchanskoy GES v protsesse ego podgotovki i ekspluatatsii [Estimation of Wood Pulp Stocks in the Reservoir of the Boguchany Hydroelectric Power Station during Its Preparation and Exploitation]. *Khvoynnyye boreal'noy zony* [Hardwood of Boreal Zone], 2008, vol. 25, no. 1–2, pp. 173–176.
4. Lyamin I.V., Beloglazov V.S. *Mekhanizirovannyye rubki ukhoda s primeneniym spetsial'noy beschokernoy lesokhozyaystvennoy kolesnoy sistemy* [Mechanized Thinning with the Use of a Special Chokerless Forestry Wheel System]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1972, no. 6, pp. 91–93.
5. Orlovskiy S.N. *Proyektirovaniye mashin i oborudovaniya dlya sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva: ucheb. posobiye* [Machines and Equipment designing for Park and Garden Design and Landscaping. Educational Textbook]. Krasnoyarsk, SSTU Publ., 2004. 108 p. (In Russ.)
6. Orlovskiy S.N. *Opredeleniye energeticheskikh i dinamicheskikh parametrov traktorov, rezhimov rezaniya aktivnykh rabochikh organov mashin-no-traktornykh agregatov: monogr.* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Cutting Modes of Active Working Members of Tractor-Based Machines. Monography]. Krasnoyarsk, KrasGAU Publ., 2011. 376 p. (In Russ.)
7. Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. *Metodika rascheta energeticheskikh i dinamicheskikh agregata dlya ponizheniya pney i rezhimov rezaniya rabocheho organa* [Calculation Methodology of Energy and Dynamic Parameters of the Stump Lowering Device and Cutting Conditions of Its Working Member]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 106–115.
8. *Razrabotat' bespoval'nyy izmel'chitel' dlya rubok ukhoda: otchet o NIR (promezhutoch.)* [To Design a Non-Felling Chipper for Improvement Thinning. Intermediate Research Report]. Krasnoyarsk, VNIIMleskhov Publ., 1976. 130 p. (In Russ.)
9. *Ustroystvo dlya izmel'cheniya drevesiny* [A Device for Wood Chipping]. The USSR Certificate of Authorship no. 409686. All-Union Research Institute for Forestry Mechanization, 1972.
10. Beniak J., Ondruška J., Čačko V. Design Process of Energy Effective Shredding Machines for Biomass Treatment. *Acta Polytechnica*, 2012, vol. 52, no. 5, pp. 133–137.

11. Shokripour H., Ismail W.I.W., Shokripour R., Moezkarimi Z. Development of an Automatic Cutting System for Harvesting Oil Palm Fresh Fruit Bunch (FFB). *African Journal of Agricultural Research*, 2012, vol. 7, no. 17, pp. 2683–2688. Available at: https://academicjournals.org/article/article1380883578_Shokripour%20et%20aa.pdf (accessed 05.05.2012).

12. Teggin R., Kavadinatti S., Hebbal S. Design and Fabrication of Machine Performing Multiple Wood Working Operations. *Proceedings of NCRIET-2015 & Indian J. Sci. Res.*, 2015, vol. 12, no. 1, pp. 162–167.

Received on April 02, 2018



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151

РЕЖИМЫ СУШКИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Ш.Г. Зарипов, д-р техн. наук, проф.

Лесосибирский филиал Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, ул. Победы, д. 29, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662543; e-mail: zaripov_sh@mail.ru

В статье разрабатываются режимы сушки лиственничных пиломатериалов, основанные на положениях, принципиально отличающихся от тех, что заложены в современные режимы. Предполагается, что в процессе сушки влага в древесине перераспределяется в составе водного раствора экстрактивных веществ. При этом движущей силой массопереноса является перепад давлений, что позволяет рассматривать сушку как одну из разновидностей баромембранного переноса. Основным источником сопротивления переносу влаги – полимерная пленка, которая формируется на поверхности доски из экстрактивных веществ на начальной стадии сушки. Цель исследования – разработка основных положений формирования режимов сушки лиственничных пиломатериалов. Предполагается, что тепловая энергия, которая подводится к высушиваемому сортименту, расходуется на создание условий возникновения избыточного давления. Данный эффект объясняется образованием парогазовой смеси в результате химико-физической активности древесины лиственницы. Поэтому температура древесины служит своеобразной мерой протекания определенной группы физико-химических процессов. В результате устанавливаются химический состав и объем смеси. Уровень температуры также определяет проницаемость системы межклеточных мембран. В результате массопереноса на поверхность доски выводится содержимое полостей клеток древесины лиственницы: влага в жидком и газообразном состоянии, водорастворимые вещества (арабиногалактан), газовая смесь, в состав которой входят такие вещества, как серосодержащие соединения, вода, спирты, фенолы, карбоновые кислоты. В жидкой составляющей присутствует значительное количество водорастворимых веществ, в которых основная доля приходится на арабиногалактан, обладающий полиэлектролитными свойствами. Все эти вещества способны изменять свое физическое состояние в зависимости от внешних условий. Следующим этапом процесса удаления влаги из древесины лиственницы является массообмен, который следует рассматривать как процесс разделения на три основных группы веществ: одна испаряется – это парогазовая смесь и часть влаги, вторая – сливается на пол сушильной камеры, третья, к которой относится арабиногалактан, –

Для цитирования: Зарипов Ш.Г. Режимы сушки лиственничных пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 151–160. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151

накапливается на поверхности. Как показали опытные сушки, наличие на поверхности доски данной группы веществ в виде полимерной пленки оказывает значительное влияние на процесс удаления влаги из древесины лиственницы.

Ключевые слова: массоперенос, массообмен, лиственничные пиломатериалы, режимы сушки, арабиногалактан.

Введение

Обзор литературных источников [5, 6, 8, 11–20] по изучаемой проблеме показал, что современные режимы сушки пиломатериалов вообще и лиственничных в частности основаны на термодинамике необратимых процессов. Такой подход позволяет в полной мере применить основные положения физики капиллярных явлений при описании процессов влагопереноса и влагообмена и математически обосновать зависимость влагопереноса от влагообмена. В результате определены основные режимные параметры – температура и относительная влажность агента сушки.

Подобный подход только по форме отражает процессы, которые происходят в древесине лиственницы при сушке. При более детальном изучении процессов было установлено, что перенос влаги в лиственничных пиломатериалах осуществляется в составе водного раствора экстрактивных веществ. Поэтому более корректно в качестве основного рассматривать процесс массопереноса [4], а массообмен представлять как дополняющий.

При этом основной движущей силой является перепад давления по сечению высушиваемого сорта. Следовательно, перенос водного раствора в древесине лиственницы при сушке аналогичен баромембранному процессу. Рассматривая массоперенос и массообмен как два дополняющих друг друга и независимых процесса, необходимо синхронизировать их путем выстраивания определенным образом режимов сушки.

Цель исследования – разработка основных положений формирования режимов сушки лиственничных пиломатериалов с учетом образования на их поверхности полимерной пленки из экстрактивных веществ.

Результаты исследования

Изучение особенностей протекания любого термодинамического процесса в системе связано с изменением температурного поля. Поэтому при формировании режимов сушки особое внимание уделяется изменению температуры как в сушильной камере (t_c), так и на поверхности (t_n) и в центре (t_u) доски.

Ниже приведены некоторые результаты опытных сушек лиственничных пиломатериалов, которые устанавливают наиболее характерные закономерности процессов.

Соотношение температурных показателей (t_c , t_n и t_u – в сушильной камере, на поверхности и в центре доски) представлено на рис. 1 [3].

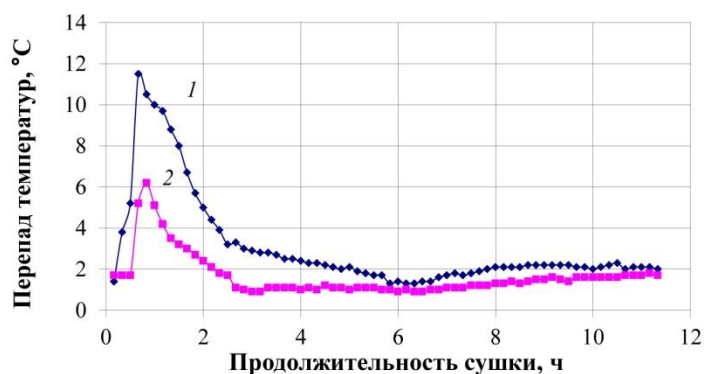


Рис. 1. Изменение температуры в высушиваемой системе: 1 – система «сушильная камера–поверхность доски» (Δt_1); 2 – система «поверхность доски–центр доски» (Δt_2) [3]

Fig. 1. The temperature change in the drying system: 1 – “drying chamber – board surface” system (Δt_1); 2 – “board surface – board center” system (Δt_2) [3]

Результаты экспериментальных исследований, отражающие зависимость интенсивности эмиссии парогазовой смеси от температуры в сушильной камере ($G_{\text{газ}}$ – удельная скорость эмиссии), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные характеристики процесса эмиссии парогазовой смеси

Температура, °С	Продолжительность, ч	Площадь эмиссии, см ²	Объем эмиссии, мл	Удельная скорость сушки, мл/(см ² ·ч)
44	86,7	25,7	84	0,037
50	83,3	25,7	90	0,047
57	145,0	25,7	109	0,034
–	$\sum \tau_c = 315$	–	283	$G_{\text{газ}} = 0,039$

Изменение интенсивности удаления влаги из древесины лиственницы в процессе сушки проиллюстрировано на рис. 2.

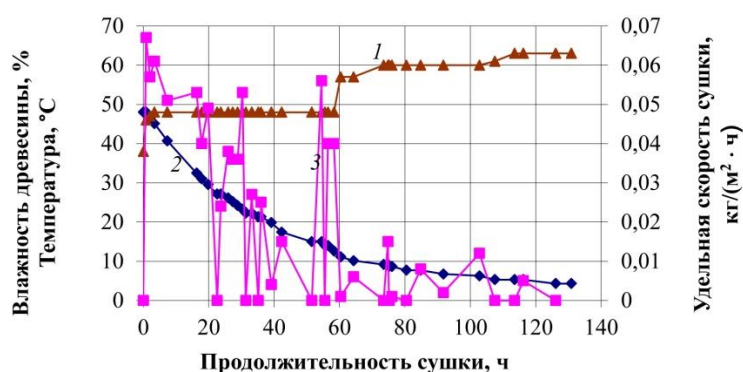


Рис. 2. Кинетика сушки лиственничных пиломатериалов сечением 25×100 мм: 1 – температура агента сушки; 2 – влагосодержание древесины; 3 – удельная скорость сушки

Fig. 2. Kinetics of drying larch sawn timber with a cross section of 25×100 mm: 1 – drying agent temperature; 2 – moisture content of wood; 3 – specific drying rate

Обсуждение результатов исследования

Проанализируем результаты экспериментов по изменению перечисленных выше температур во время сушки лиственничных пиломатериалов (см. рис. 1). Как видно из графиков, подача тепловой энергии в сушильную камеру (период прогрева, или переход с одной ступени режима на другую) приводит к изменению внутренней энергии системы по некоторой закономерности.

Так, в течение 3 ч имеет место $(\Delta t_1 - \Delta t_2) \gg 0$. По истечении указанного периода температура по сечению высушиваемой системы практически выравнивается $(\Delta t_1 - \Delta t_2) \rightarrow 0$, что указывает на стабилизацию процессов прогрева пиломатериалов, испарения влаги с поверхности доски, теплопотерь через ограждения сушильной камеры.

Такое соотношение разности температур указывает на то, что основная масса тепловой энергии, которая доводится до поверхности доски, расходуется на прогрев древесины. Справедливость данного утверждения подтверждает соотношение разницы температур Δt_1 и Δt_2 – наблюдается интенсивное изменение температуры в центре доски. Следовательно, на испарение влаги с поверхности доски затрачивается относительно небольшая часть энергии. Поэтому психрометрическая разность не может рассматриваться как мера интенсивности удаления влаги при сушке лиственничных пиломатериалов.

Анализ полученных результатов исследований позволил установить зависимость между такими процессами, как эмиссия парогазовой смеси в древесине лиственницы и удаление влаги [4]. Полученная закономерность послужила основанием для утверждения, что химико-физические процессы создают условия формирования движущей силы массопереноса [9] в древесине лиственницы при сушке посредством образования парогазовой смеси.

Экспериментально удалось установить (см. табл. 1), что каждому температурному уровню соответствует некоторый перечень химико-физических процессов, продолжительность которых ограничивается определенным временным отрезком. Для производства новых порций парогазовой смеси достаточно повысить температуру в сушильной камере. Таким образом, каждый температурный уровень является конкретной ступенью режима. Тогда более корректной мерой интенсивности удаления влаги из древесины служит удаление массы влаги с единицы площади доски в единицу времени или удельная скорость сушки (G , кг/(м²·ч)).

Анализ графиков кинетики сушки лиственничных пиломатериалов показал (см. рис. 2), что удельная скорость обуславливается не содержанием влаги в древесине лиственницы, а другими факторами, которые формируются уже в процессе сушки. На это указывает скачкообразное изменение удельной скорости сушки, наблюдаемое при усредненной влажности древесины много ниже 30 %.

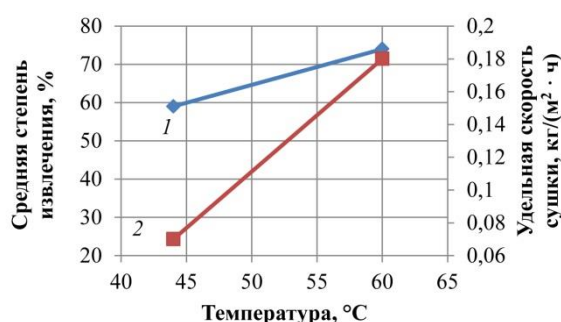
При более детальном изучении данного вопроса было установлено, что основное сопротивление выводу влаги на поверхность доски оказывает полимерная пленка, образующаяся на поверхности уже в процессе сушки [4]. Источником образования этой пленки является арабиногалактан, который выводится из древесины под действием избыточного давления. Сосредоточение на поверхности доски вещества, обладающего полиэлектролитными свойствами, создает условия для формирования полимерной пленки. Механизм ее образования изложен в ряде работ [1, 2, 7, 10].

Сформированная в начальный период полимерная пленка при сушке только уплотняется, при этом ее проницаемость снижается. Следовательно, образование полимерной пленки является тем фактором, который имеет решающее значение при удалении влаги из древесины лиственницы. Поэтому целесообразно режим сушки лиственничных пиломатериалов выстраивать с учетом такого явления, как образование полимерной пленки.

Продолжительность периода, когда формируется полимерная пленка, во многом зависит от интенсивности экстракции арабиногалактана, которая определяется температурой сушки. На рис. 3 приведены данные по интенсивности экстракции арабиногалактана [1] и удельной скорости сушки в зависимости от температуры [4].

Рис. 3. Интенсивность извлечения компонентов водного раствора при сушке: 1 – арабиногалактан; 2 – влага

Fig. 3. Extraction intensity of water solution components during drying: 1 – arabinogalactan; 2 – moisture



Нетрудно убедиться в том, что процессы экстракции и удаления влаги зависят от одних и тех же факторов: с повышением температуры увеличивается интенсивность извлечения как арабиногалактана, так и воды. Поэтому разделить эти процессы путем выстраивания определенным образом режимов не представляется возможным. Можно только уменьшить негативное влияние извлечения арабиногалактана на массоперенос, включая влагоперенос, за счет оптимизации процесса экстракции водного раствора.

Влияние температуры первой ступени сушки в целом на интенсивность вывода влаги из древесины лиственницы просматривается из ниже приведенных данных. Так, при изменении средневзвешенной влажности от начального значения $W_n = 55\%$ до конечного $W_k = 30\%$ интенсивность удаления влаги за 1 ч при температуре первой ступени $t_c = 44\text{ °C}$ составила $0,73\%$, а при $t_c = 60\text{ °C}$ – $0,45\%$.

На первый взгляд, в полученных данных имеет место некоторая нелогичность. Однако продолжительность образования полимерной пленки (τ_c) при $t_c = 44\text{ °C}$ составляет примерно 40...45 ч, а при $t_c = 60\text{ °C}$ – 15...25 ч. Поэтому наблюдается общее снижение интенсивности удаления влаги при повышении температуры первой ступени сушки.

Следующий комплекс проблем, которые необходимо решить при сушке лиственничных пиломатериалов, связан с синхронностью процессов влагопроводности и влагообмена. Их решение осложняется нестабильностью такого параметра, как удельная скорость сушки, который изменяется в широком диапазоне значений в течение ограниченного временного интервала (см. рис. 2).

Максимальное значение асинхронности процессов влагопроводности и влагообмена наблюдается в самый начальный период сушки, когда удельная

скорость сушки достигает максимального значения при предельной степени насыщенности влажностью агента сушки ($\varphi \rightarrow 100\%$). В этот период, продолжительность начального периода не превышает 25...30 ч, основная масса влаги с поверхности доски удаляется путем слива на пол камеры.

По истечении процессы влагопроводности и влагообмена синхронизируются. Для сохранения равновесия достаточно среднее значение скорости циркуляции агента сушки по штабелю поддерживать на уровне 1,5...2,0 м/с. На протяжении всего процесса сушки значение степени насыщенности должно быть 87...90 %, что позволяет создавать наиболее благоприятные (с точки зрения избежания появления трещин) условия.

На основании полученных результатов исследований была сформирована рекомендуемая структура режимов сушки лиственничных пиломатериалов экспортного назначения по ГОСТ 26002–83 «Пиломатериалы хвойных пород северной сортровки, поставляемые на экспорт» (табл. 2).

Таблица 2
Рекомендуемые режимы сушки лиственничных пиломатериалов экспортного назначения

Номер ступени	Продолжительность сушки, ч	Температура агента сушки, °С, при толщине доски, мм			
		25	32	38	50
1	40...45	44	44	44	44
2	30...35	48	48	48	48
3	30...35	52	52	52	52
4	30...35	–	56	56	56
5	30...35	–	–	60	60
6	30...35	–	–	–	64

Примечание: Режимы ориентированы на конечную влажность древесины $W_k = 20 \pm 2\%$.

Предложенная структура режимов успешно используется в течение нескольких лет на одном из лесозаготовительных предприятий г. Лесосибирска.

На рис. 4 приведены графики изменения влажности лиственничных пиломатериалов толщиной 50 мм в шести точках (1–6) сушильной камеры, где установлены датчики влажности.

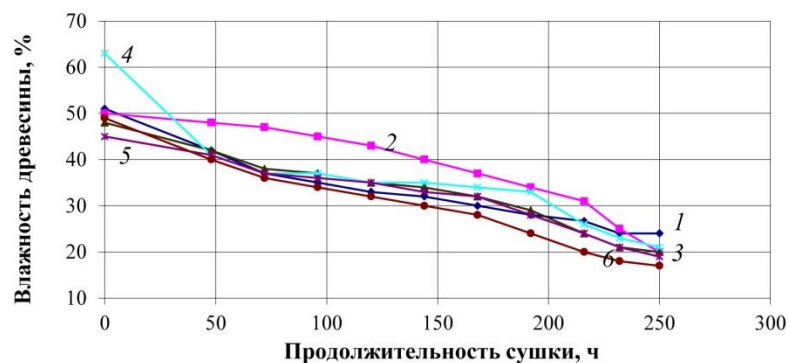


Рис. 4. Влажность древесины лиственницы в процессе сушки

Fig. 4. Humidity of larch wood in drying process

Из графиков (рис. 4) видно, что влага в пиломатериалах удаляется без видимых застойных явлений, что указывает на правильность выбранного подхода.

В табл. 3 представлены данные, отражающие распределение влажности в 150 точках отдельно взятой доски после завершения процесса сушки. Влажность определяли весовым способом.

Таблица 3

**Распределение влажности по поперечному сечению
лиственничной доски после сушки предлагаемыми режимами**

Номер элемента по толщине	Влажность, %									
	Номер элемента по ширине									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	12,1	13,5	14,7	15,0	14,9	13,1	14,7	13,8	12,2	10,3
2	12,4	16,2	18,0	18,2	19,3	18,7	20,1	18,0	15,5	10,7
3	13,7	17,6	18,8	23,1	21,4	22,5	22,6	19,9	17,3	12,2
4	13,2	17,8	19,5	21,8	22,7	24,3	22,8	21,6	18,9	12,7
5	13,6	17,5	20,1	23,4	23,7	25,4	23,4	20,9	19,4	14,3
6	14,9	17,2	19,4	20,6	24,2	26,1	22,7	20,8	17,9	13,1
7	14,6	17,1	19,4	20,0	23,2	25,0	22,5	21,3	19,3	13,4
8	13,9	16,9	18,4	19,6	20,6	27,4	22,3	21,0	19,0	12,9
9	12,7	15,5	17,2	17,8	18,9	24,3	21,7	19,5	16,8	12,3
10	11,0	12,3	12,8	13,9	14,0	18,2	16,7	16,1	14,1	11,1

Примечание: Среднее значение влажности $W_{cp} = 18,4 \%$.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что предлагаемая структура режимов близка к оптимальной, т. е. учитывает влияние основных факторов на процесс удаления влаги из древесины лиственницы. Влажность в пиломатериалах от начального значения 45...50 % до конечного $\cong 20 \%$ доводится за 230...250 ч.

За период эксплуатации предлагаемой структуры режимов образования так называемого водослоя в пиломатериалах не наблюдалось. Достоверность данного утверждения подтверждается результатами мониторинга с помощью сканера влажности после сушки на сортировочно-пакетирующей линии фирмы «ALMAB».

Выводы

1. Предлагаемая структура режимов сушки лиственничных пиломатериалов основывается на двух основных положениях: первое – перенос влаги по сечению доски происходит в составе водного раствора экстрактивных веществ под действием избыточного давления; второе – избыточное давление формируется за счет образования парогазовой смеси, как результат химико-физических процессов.

2. При разработке структуры режимов сушки лиственничных пиломатериалов процессы влагопереноса и влагообмена рассматриваются как два взаимонезависимых процесса. При этом определяющим выступает влагоперенос, дополняющим – влагообмен.

3. Предлагаемая структура режимов сушки лиственничных пиломатериалов оптимизирована относительно такого явления, как образование полимерной пленки.

4. Продолжительность каждой ступени режима определяется продолжительностью образования парогазовой смеси. Тогда количество ступеней устанавливается конечной влажностью пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин В.А., Малков Ю.А., Остроухова Л.А., Онучина Н.А., Еськова Л.А. Эффективный антиоксидант из древесины лиственницы // Хвойные бореальной зоны. 2003. № 1. С. 108–113.
2. Василевская В.В., Хохлов А.Р. К теории заряженных полимерных сеток // Математические методы для исследования полимеров: материалы II всесоюз. совещ.: сб. / под ред. И.М. Лифшица и А.М. Молчанова. Пушино: АН СССР, Науч. центр биол. исслед., 1982. С. 45–52.
3. Зарипов Ш.Г. Рациональная технология начального прогрева лиственничных пиломатериалов перед конвективной сушкой // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. XXX, № 3-4. С. 347–350.
4. Зарипов Ш.Г. Совершенствование технологии сушки лиственничных пиломатериалов: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2016. 243 с.
5. Кречетов И.В. Сушка древесины. 3-е изд., перераб. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 432 с.
6. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.
7. Филиппова О.Е. «Восприимчивые» полимерные гели // Высокомолекулярные соединения. Сер. С. 2000. Т. 42, № 12. С. 2328–2352.
8. Шубин Г.С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 248 с.
9. Хванг С.-Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения. М.: Химия, 1981. 464 с.
10. Хохлов А.Р., Дормидонтова Е.Е. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах // Успехи физ. наук. 1997. Т. 167, № 2. С. 113–128.
11. Alexiou P.N., Wilkins P., Hartley J. Effect of Pre-Steamming on Drying Rate, Wood Anatomy and Shrinkage of Regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. // Wood Science Technology. 1990. No. 24. Pp. 103–110.
12. Avramidis S., Hatzikiriakos S.G., Siau J.F. An Irreversible Thermodynamics Model for Unsteady-State Nonisothermal Moisture Diffusion in Wood // Wood Science and Technology. 1994. No. 28. Pp. 349–358.
13. Baronas R. Ivanauskas F. Reducing Spatial Dimensionality in a Model of Moisture Diffusion in a Solid Material // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004. Vol. 47, iss. 4. Pp. 699–705.
14. Bengtsson P., Sanati M. Measurement and Mathematical Modeling of the Hydrocarbon Emissions from Wood Drying // Proceedings of the 14th International Drying Symposium. São Paulo, Brazil, August 22–25, 2004. São Paulo, Brazil, 2004. Vol. B. Pp. 1352–1359.
15. Chen P., Pei D.C.T. A Mathematical Model of Drying Processes // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1989. Vol. 32, no. 2. Pp. 297–310.
16. Comstock G.L. Moisture Diffusion Coefficients in Wood as Calculated from Adsorption Desorption and Steady State Data // Forest Products Journal. 1963. Vol. 13, no. 3. Pp. 97–103.
17. Haghi A.K. A Mathematical Model of the Drying Process // Acta Polytechnica. 2001. Vol. 41, no. 3. Pp. 20–23.
18. Krischer O. Der Wärme- und Stoffaustausch im Trocknungsgut. Die analytische und grafische Behandlung der Trocknung poriger hygroskopischer Güter VDI-Forschungsheft 415. Berlin: NW 7 VDI-Verlag GmbH, 1942.
19. Krischer O., Kast W. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin: Springer Verlag, 1978. 489 S.
20. Tuttle F. A Mathematical Theory of the Drying of Wood // Journal of the Franklin Institute. 1925. Vol. 200, iss. 5. Pp. 609–614.

UDC 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151

Schedules of Larch Sawn Timber Drying in Intermittent Kiln*Sh.G. Zaripov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

The Lesosibirsk branch of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, ul. Pobedy, 29, Lesosibirsk, Krasnoyarsk region, 662543, Russian Federation; e-mail: zaripov_sh@mail.ru

The article provides development of drying schedules of larch sawn timber based on concepts fundamentally different from those incorporated in present-day schedules. It is assumed that wood moisture is redistributed being a part of extractives water solution during drying. The pressure difference is a factor of mass transfer. Thus, it is possible to consider drying as a type of barmembrane transfer. At the initial stage of drying only a polymer film formed on the board surface from extractives provides resistance to moisture transfer. The purpose of the research is laying out the fundamental principles of formation of drying schedules of larch sawn timber. It is assumed that thermal energy brought to the drying lumber is expended for creating conditions of excessive pressure generation. This effect is explained by the formation of a steam gas mixture as a result of the chemical and physical activity of larch wood. Therefore, the wood temperature is a peculiar parameter of physical and chemical processes group. As a result mixture chemical composition and volume are established. The temperature level also determines the permeability of the intercellular membrane system. The contents of the larch wood cells lumen are derived to the board surface as a result of the mass transfer: moisture in liquid and gaseous state, water-soluble substances (arabinogalactan) and a gas mixture which consists of sulfur-containing compounds, water, alcohols, phenols, carboxylic acids. There is a significant amount of water-soluble substances, mainly consist of arabinogalactan, in the liquid component. This substance has polyelectrolyte properties. All these substances are capable to change their physical state depending on external conditions. The next stage of removing the moisture from larch wood is mass exchange. It should be considered as a process of substances separation into three main groups. The first is a steam gas mixture and a part of moisture. It evaporates. The second is drained on the floor of the drying chamber. The third includes substances (arabinogalactan) accumulated on the surface. Experimental drying showed that the presence of the third group of substances in the form of polymer film on the board surface has a significant effect on the moisture removal from larch wood.

Keywords: mass transfer, mass exchange, larch sawn timber, drying schedules, arabinogalactan.

REFERENCES

1. Babkin V.A., Malkov Yu.A., Ostroukhova L.A., Onuchina N.A., Es'kova L.A. Effektivnyy antioksidant iz drevesiny listvennitsy [Effective Larch Wood Antioxidant]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Hardwood of Boreal Zone], 2003, no. 1, pp. 108–113.
2. Vasilevskaya B.B., Khokhlov A.P. K teorii zaryazhennykh polimernykh setok [On the Theory of Charged Polymer Networks]. *Matematicheskiye metody dlya issledovaniya polimerov: materialy II vsesoyuz. soveshchaniya: sb.* [Mathematical Methods for Studying the Polymers. II All-Union Meeting Proceedings]. Ed. by I.M. Lifshitsa, A.M. Molchanova, Pushchino, AN SSSR, Nauch. tsentr biol. issled Publ., 1982, pp. 45–52.

For citation: Zaripov Sh.G. Schedules of Larch Sawn Timber Drying in Intermittent Kiln. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 151–160. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.151

3. Zaripov Sh.G. Ratsional'naya tekhnologiya nachal'nogo progreva listvennichnykh pilomaterialov pered konvektivnoy sushkoy [Rational Technology of Initial Heating of Larch Sawn Timber before Convective Drying]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Hardwood of Boreal Zone], 2012, vol. 30, no. 3–4, pp. 347–350.
4. Zaripov Sh.G. *Sovershenstvovanie tekhnologii sushki listvennichnykh pilomaterialov*: dis. ... d-ra tekhn. nauk. [Improvement of Technology of Larch Sawn Timber Drying: Dr. Techn. Sci. Diss.]. Moscow, 2016. 243 p.
5. Krechetov I.V. *Sushka drevesiny* [Drying of Wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 432 p. (In Russ.)
6. Sergovskiy P.S., Rasev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny*: ucheb. dlya vuzov [Hydrothermal Treatment and Preservation of Wood. Textbook for University]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p. (In Russ.)
7. Filippova O.E. «Vospriimchivyye» polimernyye geli [Sensitive Polymer Gels]. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. Ser. S* [Polymer Science. Series S], 2000, vol. 42, no. 12, pp. 2328–2352.
8. Shubin G.S. *Fizicheskiye osnovy i raschet protsessov sushki drevesiny* [Physical Basis and Calculation of Wood Drying Processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 248 p. (in Russ.)
9. Hwang S.-T., Kammermeyer K. *Membrannyye protsessy razdeleniya* [Membranes in Separations]. Trans. from Eng. by E.P. Morgunova, Yu.N. Zhilin, ed. by prof. Yu.I. Dytnerskiy, Moscow, Khimiya Publ., 1981. 464 p. (In Russ.)
10. Khokhlov A.R., Dormidontova E.E. Samoorganizatsiya v ion-soderzhashchikh polimernykh sistemakh [Self-Organization in Ion-Containing Polymer Systems]. *Uspekhi Fizicheskikh Nauk* [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)], 1997, vol. 167, no. 2, pp. 113–128.
11. Alexiou P.N., Wilkins P., Hartley J. Effect of Pre-Steamming on Drying Rate, Wood Anatomy and Shrinkage of Regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. *Wood Science Technology*, 1990, no. 24, pp. 103–110.
12. Avramidis S., Hatzikiriakos S.G., Siau J.F. An Irreversible Thermodynamics Model for Unsteady-State Nonisothermal Moisture Diffusion in Wood. *Wood Science and Technology*, 1994, no. 28, pp. 349–358.
13. Baronas R. Ivanauskas F. Reducing Spatial Dimensionality in a Model of Moisture Diffusion in a Solid Material. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004, vol. 47, iss. 4, pp. 699–705.
14. Bengtsson P., Sanati M. Measurement and Mathematical Modeling of the Hydrocarbon Emissions from Wood Drying. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*. São Paulo, Brazil, August 22–25, 2004. São Paulo, Brazil, 2004, vol. B, pp. 1352–1359.
15. Chen P., Pei D.C.T. A Mathematical Model of Drying Processes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1989, vol. 32, no. 2, pp. 297–310.
16. Comstock G.L. Moisture Diffusion Coefficients in Wood as Calculated from Adsorption Desorption and Steady State Data. *Forest Products Journal*, 1963, vol. 13, no. 3, pp. 97–103.
17. Haghi A.K. A Mathematical Model of the Drying Process. *Acta Polytechnica*, 2001, vol. 41, no. 3, pp. 20–23.
18. Krischer O. *Der Wärme- und Stoffaustausch im Trocknungsgut. Die analytische und grafische Behandlung der Trocknung poriger hygroskopischer Güter VDI-Forschungsheft 415*. Berlin, NW 7 VDI-Verlag GmbH, 1942.
19. Krischer O., Kast W. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. *Trocknungstechnik*. Band 1. Berlin, Springer Verlag, 1978. 489 S.
20. Tuttle F. A Mathematical Theory of the Drying of Wood. *Journal of the Franklin Institute*, 1925, vol. 200, iss. 5, pp. 609–614.

Received on April 25, 2017

УДК 674.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.161

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСОПИЛЬНОГО СТАНКА ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ РАСПИЛОВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

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

Е.М. Царев, д-р техн. наук, доц.

С.Е. Анисимов, канд. техн. наук, доц.

О.Н. Черемушкина, магистрант

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,

г. Йошкар-Ола, Россия, 424000; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net,

CarevEM@volgatech.net, AnisimovSE@volgatech.net, olya.cheremushkina.95@mail.ru

Предложены техническое и технологическое решения, целью которых является разработка оборудования, позволяющего сократить трудозатраты на настройку толщины выпиливаемых досок и удаление от станка готовой продукции в виде необрезных пиломатериалов. Разработка базируется на аналогах конструкции ленточнопильных станков для продольной распиловки. Новая конструкция ленточнопильного станка снабжена пильным механизмом и механизмом удаления отпиленных досок, смонтированными на опорно-поворотной колонне, перемещающейся между установленными с обеих сторон от нее приемными столами для загрузки на них одновременно двух бревен. Работа пильного механизма и механизма удаления отпиленных досок осуществляется таким образом, что при повороте опорно-поворотной колонны и переводе ее в рабочее положение над обоими приемными столами располагается один из данных механизмов. Приемные столы имеют возможность перемещения в вертикальной плоскости для настройки толщины отпиливаемых досок. Настройка толщины новой доски, отпиливаемой от первого бревна, осуществляется путем подъема соответствующего ему приемного стола на необходимую толщину доски одновременно с отделением доски от второго бревна и удалением доски, отпиленной ранее от первого бревна. Такое совмещение операций позволяет исключить дополнительные затраты времени на настройку, так как она выполняется во время работы пильного механизма. Заявленное в цели исследования повышение производительности ленточнопильного станка реализуется за счет сокращения продолжительности цикла его работы. Материалы статьи могут быть рекомендованы для повышения производительности при пилении ленточнопильным станком. Использование предложенного варианта продольной распиловки и технологического оборудования для его осуществления возможно как на деревообрабатывающих предприятиях, так и на лесосеке с применением мобильного варианта размещения станка при выполнении всех операций технологического процесса.

Ключевые слова: ленточнопильный станок, пиление, продольная распиловка, бревно, доска.

Для цитирования: Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е., Черемушкина О.Н. Совершенствование конструкции лесопильного станка для продольной распиловки лесоматериалов // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 161–167. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.161

Введение

В настоящее время уже на стадии проектирования остро встает вопрос об оценке конкурентоспособности оборудования. Концептуальные теоретические работы о развитии лесопильных предприятий свидетельствуют о постоянном усложнении конструкций станков, повышении их точности, стабильности и надежности работы. Согласно исследованиям Прокофьева Г.И. и Дундина Н.И. основные направления интенсификации переработки древесины могут быть реализованы на различных уровнях. Среди них модернизация действующего оборудования путем улучшения его параметров за счет изменения отдельных узлов и механизмов, а также создание лесопильного оборудования нового поколения, когда основные недостатки, присущие существующим станкам, не могут быть устранены путем их модернизации [7].

Основными теоретическими предпосылками, послужившими основой для развития идей, изложенных в статье, явились специфические тенденции развития современных деревообрабатывающих станков к тесной связи технологических операций и концентрации их во времени [1, 8].

Многие лесопромышленные предприятия в связи с нарастающими темпами модернизации в нашей стране стремятся повысить эффективность своей деятельности на основе использования современных технологий с применением перспективных технических средств, в частности новых технологий и оборудования для реализации непрерывного поточного производства с возможностью синхронизации операций.

В настоящее время известно много конструкций ленточнопильных станков для продольной распиловки лесоматериалов [11–13]. Одним из направлений роста эффективности работы лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий является создание новых станков повышенной производительности за счет совершенствования их конструкции. Многие зарубежные и российские ученые внесли свой вклад в науку в вопросе минимизации расходов времени и энергии при выполнении технологических операций, связанных с продольной распиловкой бревен [9, 10].

Например, в конструкцию ленточнопильного станка [3] включены пильный механизм, который установлен на раму станка, и смонтированные на рельсах ходовые тележки и зажимы. Однако невысокая производительность данного станка, обусловленная необходимостью постоянных холостых проходов тележки при отделении от бревна каждой новой доски, является недостатком этой конструкции. Для его устранения необходимы дополнительные исследования.

Станок для продольной распиловки лесоматериалов [4] содержит раму с направляющей для хода каретки и установленным на ней механизмом пиления, узел продольного пиления, размещенный сбоку от направляющей, узел обработки бревен, смонтированный симметрично узлу продольного пиления. Недостаток этой конструкции состоит в том, что существует холостой ход после каждого пропила. Одновременное выполнение двух операций (пиление бревна вдоль и одновременное сталкивание готовой продукции в виде досок) не предусмотрено, приемный стол станка не имеет возможности регулировки.

Существующая в настоящее время конструкция ленточнопильного станка [6] предусматривает наличие пильного механизма, а также механизмов зажима и подачи, направляющей с грузовой тележкой. На тележке неподвиж-

но установлен опорно-поворотный механизм, выполненный в виде подшипникового узла. Опорно-поворотный механизм приводится в рабочее положение с фиксацией при помощи установленного на корпусе станка стопора. Использование подобного технического решения позволяет избежать обратного холостого движения пильного механизма к первоначальной точке при подготовке к каждому очередному пропилу. Однако данный способ также имеет свои недостатки: чрезмерные затраты времени на выполнение операций по настройке толщин выпиливаемых досок и их удалению от станка после завершения продольного пропила бревна, большие габариты пильного механизма, имеющего довольно сложную конструкцию, что вызывает необходимость установления повышенных требований к прочности опорно-поворотного механизма.

Известны и другие ленточнопильные станки [2, 5]. Недостатками этих конструкций также является холостой ход, выполняемый пильным механизмом после каждого нового пропила, что отрицательно сказывается на времени работы ленточнопильного станка.

Цель исследования – разработка оборудования, позволяющего сократить трудозатраты на настройку толщины выпиливаемых досок и удаление от станка готовой продукции в виде необрезных пиломатериалов.

Объекты и методы исследования

Заявленное повышение производительности ленточнопильного станка реализуется за счет сокращения продолжительности цикла его работы. Представленный в статье ленточнопильный станок для продольной распиловки бревен (рис. 1) предусматривает наличие в конструкции пильного механизма для продольной распиловки 1, оснащенного ленточной пилой, механизма удаления от станка готовой продукции 2, опорно-поворотной колонны, включающей вертикальную стойку 3, подшипники 4, корпус 5, жестко соединенный с тележкой 6, размещенной в направляющей 7 и имеющей двутавровое сечение, и приемных столов 8. Опорно-поворотная колонна перемещается между установленными с обеих сторон от нее приемными столами, используемыми для загрузки на них лесоматериалов. На опорно-поворотной колонне вышеперечисленные механизмы закреплены стационарно таким образом, что при повороте колонны и переводе ее в рабочее положение над обоими приемными столами располагается один из механизмов. Приемные столы имеют возможность перемещения в вертикальной плоскости, что используется в целях настройки толщины выпиливаемой готовой продукции 9. Подача 10 лесоматериалов 13 на приемные столы выполняется с использованием загрузочных механизмов 11, подъем приемного стола для настройки толщины выпиливаемых досок – с использованием подъемных механизмов 12. Полученные при распиловке доски складываются в штабеля 14.

Результаты исследования и их обсуждение

Функционирование станка осуществляется в следующей последовательности.

С помощью загрузочных механизмов бревна одновременно загружаются на приемные столы с двух противоположных сторон станка. Происходит их

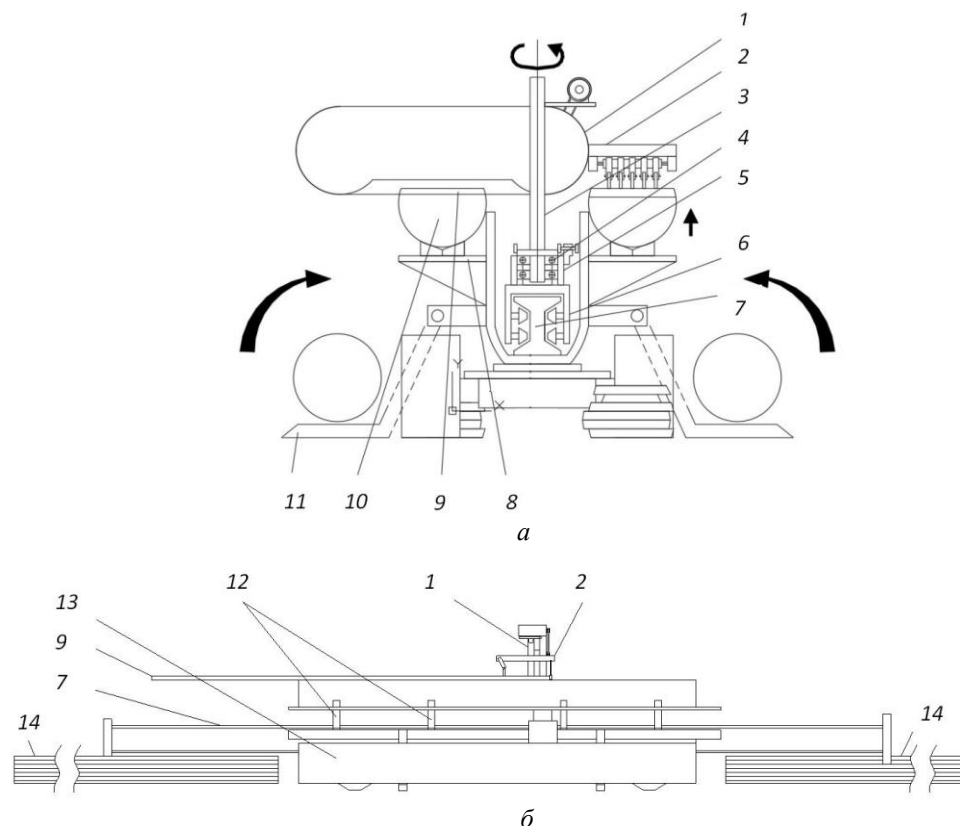


Рис. 1. Вид спереди (а) и сбоку (б) модернизированного станка для продольной распиловки

Fig. 1. Front view (a) and side view (b) of redesigned machine for rip cutting

центровка на столах с настройкой толщины первой отпиливаемой доски от одного из загруженных бревен путем подъема на необходимую высоту одного из приемных столов. Пильный механизм переводится в рабочее положение и оказывается над данным приемным столом. Одновременно механизм удаления готовой продукции располагается над другим приемным столом. Продольная распиловка лесоматериала выполняется пильным механизмом при движении тележки с опорно-поворотной колонной по направляющей вдоль оси бревна от его комлевой части к вершине. При этом второй лесоматериал еще не поднят в зону действия станка, а следовательно, механизм удаления готовой продукции свободно перемещается над вторым бревном. По завершении первого пропила на первом бревне пильный механизм разворачивается за счет поворота опорно-поворотной колонны на 180° . Происходит фиксация колонны в новом положении. Пильный механизм при этом располагается уже над вторым бревном, а механизм удаления готовой продукции – над первым бревном с лежащей на нем только что отпиленной доской. Происходит настройка высоты приемного стола с расположенным на нем вторым бревном. Вновь, но уже в обратном направлении, от вершины к комлю, за счет перемещения тележки по направляющей осуществляются движение пильного меха-

низма и продольная распиловка с отделением одной доски от второго бревна. Механизм удаления готовой продукции передвигается по поверхности первого бревна и удаляет в штабель готовой продукции отделенную от него на предыдущем этапе доску. Одним из примеров механизма удаления готовой продукции может служить хорошо зарекомендовавший себя в работе механизм станка «Sumska Kraljica and 6 super» (рис. 2).



Рис. 2. Работа механизма удаления готовой продукции

Fig. 2. Mechanism operation of final products removing

Настройка толщины новой доски, отпиливаемой от первого бревна, осуществляется путем подъема соответствующего ему приемного стола на необходимую толщину доски одновременно с отделением доски от второго бревна и удалением доски, отпиленной от первого бревна. Такое совмещение операций позволяет исключить дополнительные затраты времени на настройку толщины досок, так как данная операция на всех последующих досках уже выполняется во время работы пильного механизма по распиловке бревна, расположенного на соседнем приемном столе. В каждый штабель готовой продукции доски поступают поочередно. Штабели располагаются с противоположных сторон вдоль осей распиливаемых бревен.

Заключение

Использование предложенного способа продольной распиловки и технологического оборудования для его осуществления возможно как на деревообрабатывающих предприятиях, так и прямо на лесосеке при мобильном варианте размещения станка и выполнении всех операций технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзенберг А.И. Пути повышения рентабельности лесопильных предприятий // Деревообаб. пром-сть. 2005. № 4. С. 8–10.
2. Заявка 2013120446 Российская Федерация. Ленточнопильный станок для продольной распиловки лесоматериалов / Анисимов С.Е., Царев Е.М., Пуртов В.Н., Чулков Р.Б., Соболева Ю.А. № 2013120446/13; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31.
3. Пат. 2181080 Российская Федерация. Горизонтальный ленточнопильный станок / Вергейчик Ю.В., Исаков В.Г., Куропаткин А.В. № 99123894; опубл. 12.11.99, Бюл. № 10.

4. Пат. 2273560 Российская Федерация. Передвижная ленточнопильная установка / Волегов В.Ф., Волегов А.В., Волегова Н.В., Езерский Н.Н. № 2004128702; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10.
5. Пат. 2365490 Российская Федерация. Способ продольной распиловки сортиментов и станок для его осуществления / Рукомойников К.П., Виноградов П.Н., Капитонов С.М., Христофоров А.В. № 2007145513; опубл. 27.08.2009, Бюл. № 24.
6. Пат. 2484949 Российская Федерация. Ленточнопильный станок для продольной распиловки лесоматериалов / Анисимов С.Е., Царев Е.М., Гайнуллин Р.Х. № 2011149835; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
7. Прокофьев Г.Ф., Дундин Н.И. Основные направления интенсификации переработки древесины на лесопильном оборудовании // Лесн. журн. 2004. № 3. С. 65–72. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Шилько В.К. Перспективы развития ленточнопильных станков // Деревооб- раб. пром-сть. 2004. № 5. С. 6–11.
9. *Belzile Lue, Shediac Cape*. Portable Saw Mill with Bed Adjustments: pat. United States. No. US 2013/0283992 A1; 31.10.2013.
10. *Dale P.* Self-Locking Adjustable Blade Guide For Band Saw: pat. United States. No. US 8,261,647 B2; 11.09.2012.
11. *Douglas L., Elgan P.O.* Multi-Directional Portable Band Sawmill for Lumber and Firewood: pat. United States. No. 5213002; 01.06.1992.
12. *Keener F., Dewey A., Vernon Mt.* Portable Band Saw Sawmill Apparatus: pat. United States. No. 6038954; 27.06.1998.
13. *Mizutani A., Tsuge K., Matsubara K., Ito A.* Band Saw Having Adjustable Blade Guide: pat. United States. No. US 2012/0055312 A1; 08.03.2012.

Поступила 15.03.18

UDC 674.02

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.161

Design Improvement of a Sawmill Machine for Rip Cutting

K.P. Rukomojnikov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

E.M. Tsarev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

S.E. Anisimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

O.N. Cheremushkina, Master Degree Student

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, CarevEM@volgatech.net, AnisimovSE@volgatech.net, olya.cheremushkina.95@mail.ru

The paper introduces technical and technological solutions for equipment which reduce labor costs for setting the thickness of sawn boards and removing the final products (un-edged sawn timber) from the machine. The invention is based on a similar design of band saw machines for rip cutting. The band saw machine of a new design has been manufactured. It is equipped with a sawing mechanism and a sawn off boards removing mechanism mounted on a rotary support column. The rotary support column moves between outfeed tables installed on both sides for loading two logs on them simultaneously. The mechanisms operation is carried out in such a way that when the rotary support column turns and transfers to the working position, one of these mechanisms is placed above both outfeed tables. Outfeed tables are able to move in a vertical plane to adjust the thickness of the sawing boards. Setting the thickness of a new board sawn off from the first log is carried out by

For citation: Rukomojnikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E., Cheremushkina O.N. Design Improvement of a Sawmill Machine for Rip Cutting. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 161–167. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.161

lifting the corresponding outfeed table to the required board thickness simultaneously with separation of the board from the second log and the removal the board sawn off from the first log. This combination of operations makes it possible to eliminate the time consumption required to adjust the board thickness since this operation is carried out during the sawing mechanism operation. The increasing of band saw machine productivity is realized due to the time cycle reduction of its operation. The article materials can be recommended for improving the productivity of band saw machine. The use of the proposed rip cutting method and technological equipment for its implementation is possible both at woodworking enterprises and in the cutting area with the use of a mobile type machine with implementation of all operations of technological process.

Keywords: band saw machine, sawing, rip cutting, log, board.

REFERENCES

1. Ayzenberg A.I. Puti povysheniya rentabel'nosti lesopil'nykh predpriyatiy [Ways of Improvement the Efficiency of Sawmills]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2005, no. 4, pp. 8–10.
2. Anisimov S.E., Tsarev E.M., Purtov V.N., Chulkov R.B., Soboleva Yu.A. *Lentochnopil'nyy stanok dlya prodol'noy raspilovki lesomaterialov*. [Band Saw Machine for Rip Cutting]. Application for the Invention 2013120446 (RF), no. 2013120446/13, published 10.11.2014, Bulletin no. 31.
3. Vergeychik Yu.V., Isakov V.G., Kuropatkin A.V. *Gorizontal'nyy lentochnopil'nyy stanok* [Horizontal Band Saw Machine]. Patent 2181080 (RF). no. 99123894, published 12.11.99, Bulletin no. 10.
4. Volegov V.F., Volegov A.V., Volegova N.V., Ezerskiy N.N. *Peredvizhnaya lentochnopil'naya ustanovka* [Mobile Band Saw Equipment]. Patent 2273560 (RF), no. 2004128702, published 10.04.2006, Bulletin no. 10.
5. Rukomoynikov K.P., Vinogradov P.N., Kapitonov S.M., Khristoforov A.V. *Sposob prodol'noy raspilovki sortimentov i stanok dlya ego osushchestvleniya* [Approach to Rip Cutting of Timber Assortments and a Machine for Its Implementation]. Patent 2365490 (RF), no. 2007145513, published 27.08.2009, Bulletin no. 24.
6. Anisimov S.E., Tsarev E.M., Gaynullin R.Kh. *Lentochnopil'nyy stanok dlya prodol'noy raspilovki lesomaterialov* [Band Saw Machine for Rip Cutting]. Patent 2484949 (RF), no. 2011149835, published 20.06.2013, Bulletin no. 17.
7. Prokof'yev G.F., Dundin N.I. Osnovnyye napravleniya intensivatsii pererabotki drevesiny na lesopil'nom oborudovanii [Basic Trends in Intensification of Wood Processing on a Sawmill Equipment]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2004, no. 3. pp. 65–72.
8. Shil'ko V.K. Perspektivy razvitiya lentochnopil'nykh stankov [Future Development of Band Saw Machines]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2004, no. 5, pp. 6–11.
9. Belzile L., Shediak C. *Portable Saw Mill with Bed Adjustments*, the United States of America, Pat. no. US 2013/0283992 A1, 2013.
10. Dale P. *SelfLocking Adjustable Blade Guide For Band Saw*, the United States of America. Pat. no. US 8,261,647 B2, 2012.
11. Douglas L., Elgan, P.O. *Multi-Directional Portable Band Sawmill for Lumber and Firewood*, the United States of America, Pat. no. 5213002, 1993.
12. Keener F., Dewey A., Vernon Mt. *Portable Band Saw Sawmill Apparatus*, United States of America, Pat. no. 6038954, 1998.
13. Mizutani A., Tsuge K., Matsubara K., Ito A.. *Band Saw Having Adjustable Blade Guide*: United States, Appl. Publ. Pat. no. US 2012/0055312 A1, 2012.

Received on March 15, 2018

УДК 674.048.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.168

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ДРЕВЕСИНЫ В ПЬЕЗОПЕРИОДИЧЕСКОМ ПОЛЕ*О.А. Куницкая¹, д-р техн. наук, доц., проф.**С.С. Бурмистрова², соискатель**Е.Г. Хитров³, доц.**А.Н. Минаев³, д-р техн. наук, проф.*¹Якутская государственная сельскохозяйственная академия, ш. Сергеляхское, 3-й км, д. 3, г. Якутск, Россия, 677007; e-mail: ola.ola07@mail.ru²Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: sve2091@yandex.ru³Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, просп. Институтский, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: yegorkhitrov@mail.ru, stl@spbtu.ru

В настоящее время ведутся многочисленные исследования способов модификации древесины в целях получения новых конструкционных и защитных материалов, имеющих лучшие эксплуатационные свойства и технико-экономические показатели их производства по сравнению с существующими материалами аналогичного назначения. Известны способы модификации древесины, позволяющие, например, заменять новым материалом цветные металлы в парах трения, использовать модифицированные материалы на основе древесины для защиты от нейтронных потоков и т. д. Одним из наиболее распространенных способов модификации древесины, наряду с уплотнением, является пропитка ее жидкостями с различными свойствами. Для повышения эффективности процесса пропитки разработаны установки, использующие эффект пьезопериодического поля. Скорость пропитки при этом выше, чем у других известных способов, так как заготовки дополнительно подвергаются воздействию импульсного повышения давления. В ранее разработанных математических моделях работы таких установок не были учтены различия параметров, характеризующих фильтрацию в капиллярах и порах древесины. В ходе реализации разработанной математической модели установлено, что за 25 циклов повышения давления происходит пропитка образца на 25...30 см в зависимости от породы древесины, что с учетом времени цикла, составившего 60 с, свидетельствует, что предложенные конструкции установок для пропитки древесины при помощи гидроудара, а также по принципу давление–сброс–давление превосходят уже известные установки. Результаты реализации модели показывают, что вклады поровой и капиллярной фильтраций сопоставимы, при этом первая протекает несколько медленнее, чем вторая. Перспективным направлением дальнейших исследований считаем опыты для получения дополнительных сведений о проницаемости древесины, отдельно по порам и капиллярам. Новые экспериментальные данные позволят решить задачу оптимизации параметров процесса пропитки в целях получения равномерно пропитанных заготовок за минимальное время обработки.

Ключевые слова: гидроудар, пропитка древесины, заполнение капилляра, модель пористого пространства древесины.

Для цитирования: Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Хитров Е.Г., Минаев А.Н. Математическое моделирование процесса пропитки древесины в пьезопериодическом поле // Лесн. журн. 2018. № 5. С. 168–180. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.168

Введение

Проблеме модификации древесины и получения на ее основе новых материалов с заданными свойствами посвящено большое количество трудов отечественных и зарубежных ученых [9, 12–15]. При этом все более актуальным становится вопрос создания линейки мобильных пропиточных комплексов для оснащения, например, лесных терминалов [1, 2].

Известны следующие способы пропитки деревянных заготовок: вымачивание, пропитка в центробежных установках, пропитка в барокамерах. Указанные способы имеют ряд недостатков [3].

Вымачивание отличается большой длительностью, а при ускорении процесса путем нагревания пропиточной жидкости – значительным энергопотреблением.

Центробежные установки для пропитки, барокамеры имеют сложную конструкцию, но автоматизировать процесс загрузки–выгрузки заготовок невозможно [10].

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются математические модели работы установок, основанных на использовании эффекта пьезопериодического поля для пропитки лесоматериалов и созданных с учетом различия параметров, характеризующих фильтрацию в капиллярах и порах древесины.

Решения дифференциальных уравнений движения фронта пропитки получены с учетом гармонического вида функции повышения давления в установке, а также начального интервала пропитки, без пренебрежения переменным характером давления пропиточной жидкости при выборе начальных условий к решению дифференциальных уравнений движения фронта пропитки.

Результаты исследования и их обсуждение

Для повышения эффективности процесса пропитки древесины разработана установка с использованием гидравлического удара [7], которая имеет простую конструкцию, низкое энергопотребление и возможность механизировать процесс загрузки–выгрузки деревянных заготовок. Скорость пропитки таким способом выше, чем у других известных способов, так как заготовки подвергаются двойному воздействию: импульсному повышению давления, что позволяет получать периодическое силовое поле (рис. 1).

Установка работает следующим образом. Заготовка помещается в тупиковый конец разгонной трубы через загрузочный люк. Насос подает в напорный бак пропиточную жидкость из приемного бака. После того, как жидкость в напорном баке достигает верхнего датчика уровня, запорное устройство открывает путь жидкости на слив, уровень в напорном баке начинает падать, в момент достижения нижнего датчика уровня запорное устройство резко закрывается. При этом в разгонной трубе происходит явление гидроудара.

Ударная волна будет совершать затухающие колебания в разгонной трубе от запорного устройства до торца заготовки. Например, при скорости потока 1 м/с давление в трубе повышается от 1,0 до 1,5 МПа. В это время насос заполняет напорный бак до уровня верхнего датчика и процесс повторяется.

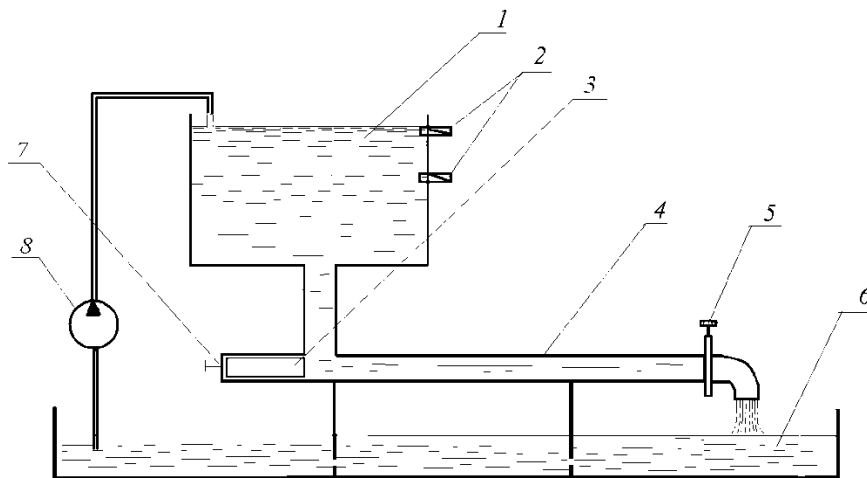


Рис. 1. Установка для пропитки древесины при помощи гидроудара: 1 – напорный бак; 2 – датчики уровня жидкости; 3 – заготовка; 4 – разгонная труба; 5 – запорное устройство; 6 – приемный бак; 7 – загрузочный люк; 8 – насос

Fig. 1. Equipment for impregnation of wood by means of a water hammer: 1 – pressure tank; 2 – liquid level sensors; 3 – wood sample; 4 – accelerating tube; 5 – locking device; 6 – receiving tank; 7 – loading hatch; 8 – pump

Ввиду сложности внутренней структуры древесины при разработке модели пропитки древесины гидроударом задача решается суперпозиционно, как суммарная картина пропитки капиллярного и порового пространства [5].

Рассмотрим заполнение капилляров древесины пропиточной жидкостью. Примем связь скорости фронта пропитки в капилляре u_k с гидравлическим напором в форме закона фильтрации Дарси [8]:

$$\frac{du_k}{dt} = \frac{k_k}{\mu} \Delta p_k, \quad (1)$$

где k_k – коэффициент пропорциональности (коэффициент фильтрации капиллярной структуры);

μ – динамическая вязкость пропиточной жидкости;

Δp_k – градиент гидравлического напора в капиллярах по длине пропитанного участка образца древесины.

Градиент гидравлического напора определим по формуле [8]:

$$\Delta p_k = \frac{p_k(t)}{L_k}, \quad (2)$$

где $p_k(t)$ – давление пропиточной жидкости;

L_k – длина пропитанного участка образца древесины.

В решаемой задаче давление пропиточной жидкости складывается из составляющей, вызванной гидравлическим ударом p , и составляющей, обусловленной давлением поверхностного натяжения жидкости внутри капилляров p_k :

$$p_k(t) = p + p_k. \quad (3)$$

Примем следующую закономерность повышения давления при гидравлическом ударе:

$$p = p_0(1 + A \sin \omega t), \quad (4)$$

где p_0 – среднее давление жидкости в процессе пропитки;

A – амплитуда давления при гидроударе;

ω – частота возмущения;

t – время.

Давление поверхностного натяжения определим по формуле [8]:

$$p_k = \frac{2\sigma}{r_k}, \quad (5)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения;

r_k – условный радиус капилляра.

Тогда градиент гидравлического удара

$$\Delta p_k = \frac{p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_k}}{L_k}. \quad (6)$$

Запишем уравнение (1) с учетом (6):

$$\frac{du_k}{dt} = \frac{k_k}{\mu} \frac{p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_k}}{L_k}. \quad (7)$$

Длина пропитанного участка L_k определяется с учетом скорости фронта пропитки $\frac{du_k}{dt}$, причем скорость переменна по времени. Тогда, приняв, что L_k равна пути, пройденному фронтом пропитки ко времени t , имеем:

$$L_k = \int_0^t \frac{du_k}{dt} dt. \quad (8)$$

Продифференцируем уравнение (8) по t :

$$\frac{dL_k}{dt} = \frac{du_k}{dt}. \quad (9)$$

Перепишем уравнение (7) относительно L_k с учетом равенства (9):

$$L_k \frac{dL_k}{dt} = \frac{k_k}{\mu} \left\{ p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_k} \right\}. \quad (10)$$

Решим дифференциальное уравнение (10) относительно L_k при начальном условии $L_k(0) = 0$:

$$L_k = \sqrt{\frac{2k_k}{\mu r_k \omega}} \sqrt{p_0 r_k (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}. \quad (11)$$

Выразим скорость:

$$\frac{dL_k}{dt} = \sqrt{\frac{k_k r_k \omega}{2\mu}} \frac{p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_k}}{\sqrt{p_0 r_k (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}}. \quad (12)$$

Количество жидкости, проходящей через капилляры за единицу времени, найдем, умножив скорость, определенную по формуле (12), на площадь поперечного сечения образца S и долю капилляров от объема образца η_k :

$$\frac{dQ_k}{dt} = S\eta_k \sqrt{\frac{k_k r_k \omega}{2\mu}} \frac{p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_k}}{\sqrt{p_0 r_k (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}}. \quad (13)$$

Далее рассмотрим заполнение порового пространства древесины пропиточной жидкостью. В соответствии с рекомендациями [8] запишем связь скорости фронта пропитки с гидравлическим напором в виде следующего уравнения:

$$\frac{du_n}{dt} = \frac{k_n}{\gamma} \Delta p_n, \quad (14)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности (коэффициент фильтрации пористой структуры);

γ – удельный вес пропиточной жидкости.

Гидравлический напор Δp_n определим по аналогии с уравнением (2) [8]:

$$\Delta p_n = \frac{p_n(t)}{L_n}, \quad (15)$$

где давление складывается из двух составляющих:

$$p_k(t) = p + p_n. \quad (16)$$

Здесь давление поверхностного натяжения в порах

$$p_n = \frac{2\sigma}{r_n}, \quad (17)$$

где r_n – условный радиус поры.

В итоге для скорости фронта пропитки в порах получим уравнение, аналогичное по структуре уравнению (7):

$$\frac{du_n}{dt} = \frac{k_n}{\gamma} \frac{p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_n}}{L_n}, \quad (18)$$

где длина L_n также связана с производной $\frac{du_n}{dt}$:

$$L_n = \int_0^t \frac{du_n}{dt} dt; \quad (19)$$

$$\frac{dL_n}{dt} = \frac{du_n}{dt}. \quad (20)$$

С учетом соотношения (20) и уравнения (18) запишем уравнение для скорости фронта пропитки в порах:

$$L_n \frac{dL_n}{dt} = \frac{k_n}{\gamma} \left\{ p_0(1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_n} \right\}. \quad (21)$$

Решение дифференциального уравнения (21) относительно L_n при начальном условии $L_n(0) = 0$ имеет вид:

$$L_n = \sqrt{\frac{2k_n}{\gamma r_n \omega}} \sqrt{p_0 r_n (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}, \quad (22)$$

при этом скорость

$$\frac{dL_n}{dt} = \sqrt{\frac{k_n r_n \omega}{2\gamma}} \frac{p_0 (1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_n}}{\sqrt{p_0 r_n (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}}. \quad (23)$$

Количество жидкости, проходящей через поры за единицу времени, найдем, умножив скорость, вычисленную по формуле (23), на площадь поперечного сечения образца S и долю пор от объема образца η_n :

$$\frac{dQ_n}{dt} = S \eta_n \sqrt{\frac{k_n r_n \omega}{2\gamma}} \frac{p_0 (1 + A \sin \omega t) + \frac{2\sigma}{r_n}}{\sqrt{p_0 r_n (\omega t + A - A \cos \omega t) + 2\sigma \omega t}}. \quad (24)$$

Время t , используемое при расчете количества жидкости, массы пропиточной жидкости по формулам (24), (26), является управляемым технологическим параметром и определяется количеством циклов повышения и сброса давления в резервуаре за время обработки T .

Суммарная скорость фильтрации жидкости через капиллярное и поровое пространство образца определится как сумма капиллярной и пористой составляющих:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_k}{dt} + \frac{dQ_n}{dt}, \quad (25)$$

тогда масса жидкости, впитанной образцом к моменту времени t , – прирост массы

$$\Delta M = \frac{\gamma}{g} \int_0^t \frac{dQ}{dt} dt. \quad (26)$$

Формулы (11), (13), (22), (24), (25) являются основой математической модели пропитки древесины в пьезопериодическом поле. При заданных параметрах функции давления по времени (p_0 , A , ω), свойствах пропиточной жидкости и образца древесины (μ , γ , σ , k_n , k_k , r_n , r_k , η_n , η_k , S) модель позволяет рассчитать главные показатели процесса пропитки – массу и глубину проникновения импрегната в заготовку.

Для дальнейшего исследования примем следующие параметры функции (4): $p_0 = 0,85$ МПа; $A = 1$; $\omega = 2\pi N/T$ (где N – число циклов повышения давления; T – общее время пропитки), а также $N = 25$; $T = 60$ с.

При взятии определенных интегралов по формулам (24), (26) $t = 0 \dots 60$ с.

Расчет проведем на примере пропиточной жидкости, близкой по свойствам к воде: $\gamma = 10$ кН/м³; $\mu = 0,002$ Па·с; $\sigma = 0,0727$ Па·м.

Коэффициенты фильтрации ранее определены в опытах по центробежной пропитке, но без разделения на капиллярную и поровую фильтрацию. На настоящем этапе исследования примем $k_n \approx k_k$. Для древесины осины, березы и ольхи коэффициент составит соответственно $1,3 \cdot 10^{-13}$; $1,6 \cdot 10^{-13}$; $1,25 \cdot 10^{-13}$ м². Размерные характеристики пор и капилляров, а также их объемные доли примем по [8]: $\eta_n = 0,5$; $\eta_k = 0,2$; $r_n = 250$ мкм; $r_k = 2,45$ мкм. Сечение образца – прямоугольное, площадь сечения – 25 см².

Все величины подставляются в расчетные зависимости в единицах СИ.

Результаты расчетов для березового образца представлены на рис. 2.

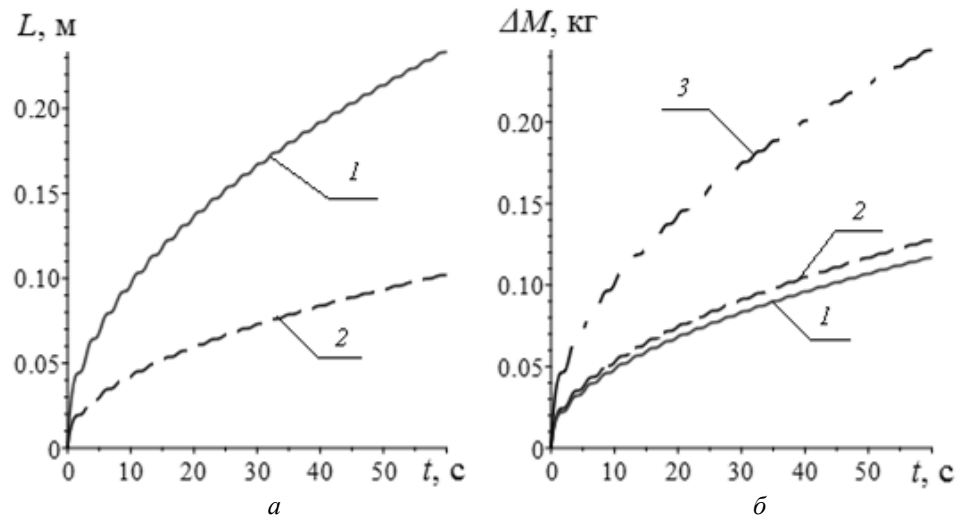


Рис. 2. Пропитка березового образца: *a* – глубина пропитки, *б* – прирост массы; 1 – капиллярная составляющая, 2 – поровая составляющая, 3 – суммарное значение
 Fig. 2. Impregnation of a birch sample: *a* – depth of impregnation, *b* – mass gain; 1 – capillary component, 2 – pore component, 3 – total value

Результаты реализации модели показывают, что вклады поровой и капиллярной фильтрации сопоставимы, при этом фильтрация в порах происходит несколько медленнее, чем в капиллярах. Здесь возникает отдельная задача исследования равномерности пропитки и обоснования оптимальных режимов пропитки в целях получения качественно пропитанных заготовок при минимальном времени обработки. В связи с этим считаем перспективным направлением дальнейших исследований проведение опытов, направленных на получение дополнительных сведений о проницаемости древесины, отдельно по порам и капиллярам.

Характер кривых на рис. 2 показывает, что при организации исследований следует исходить из планов многофакторного эксперимента, подразумевающих возможность получения поверхностей отклика анализируемой величины (глубины пропитки или массы впитанного импрегната) в виде полиномов второго порядка, как это было сделано при изучении изменения фильтрационной способности лесных почв [11].

Расчеты показывают, что за 25 циклов повышения давления происходит пропитка образца на 25...30 см в зависимости от породы древесины, что с учетом времени цикла, составившего в расчете 60 с, доказывает, что предложенная конструкция установок для пропитки древесины при помощи гидроудара по своим потенциальным свойствам превосходит известные образцы.

Рассмотрим еще один способ пропитки, базирующийся на сходных с гидроударным предпосылках. Предварительные исследования показали, что эффективной также является пропитка древесины в пьезопериодическом поле в режиме вакуум–давление–вакуум–давление. Капиллярно-пористую систему водопроводящих путей древесины можно рассматривать как бигидравлическую структуру, в которой гидравлическое сопротивление пористой структуры существенно превышает гидравлическое сопротивление капиллярной. Поэтому можно допустить, что под давлением происходит заполнение пропи-

точной жидкостью капиллярной структуры, а при вакууме – удаление сжатого воздуха через пористую структуру.

Известен автоклавный способ пропитки древесины по методу давление–сброс–давление. Второе предлагаемое пропиточное устройство работает по этому принципу [4, 6]. В пропиточную емкость помещаются пропитываемые деревянные изделия (изделие). Размер пропиточной емкости может быть разным, в зависимости от требуемой производственной мощности установки. Из резервной доливочной емкости пропиточная емкость заполняется полностью. Включается гидронасос, и гидроцилиндр перемещает поршень гидроаккумулятора, создавая давление в пропиточной емкости. Когда поршень доходит до крайне правого положения, происходит переключение гидрораспределителя и поршни гидроцилиндра и гидроаккумулятора перемещаются в обратную сторону, создавая разрежение в пропиточной емкости. Затем гидрораспределитель переключает гидроцилиндр на надвигание, вновь создавая давление в пропиточной емкости.

Устройство обеспечивает автоматизированную циклическую последовательность сжатия–разряжения, за счет чего достигается более качественная (глубокая) пропитка изделий.

Для разработки математической модели процесса пропитки древесины в предлагаемом устройстве рассмотрим заполнение продольной капиллярно-пористой структуры. С учетом условия симметрии пропитки через торцовые сечения движение жидкости в эквивалентном капилляре представим уравнением [8]:

$$\frac{du_k}{dt} = \frac{p + \frac{2\sigma}{r_k} + p_0 \frac{l_0}{(l_0 - L)}}{L}, \quad (27)$$

где p – создаваемое избыточное давление;

p_0 – начальное давление в пропиточной камере;

l_0 – половина длины пропитываемого изделия.

С учетом (5) получаем:

$$L \frac{dL}{dt} = \frac{k_k}{\mu} \left[p + \frac{2\sigma}{r_k} + p_0 \frac{l_0}{l_0 - L} \right]. \quad (28)$$

При начальном вакууме в камере уравнение упрощается:

$$L \frac{dL}{dt} = \frac{k_k}{\mu} \left[p + \frac{2\sigma}{r_k} \right]. \quad (29)$$

Запишем решение уравнения (29) при начальном условии $L(0) = 0$:

$$L = \sqrt{\frac{2k_k (pr_k + 2\sigma)}{\mu r_k}} t^{\frac{1}{2}}, \quad (30)$$

откуда время выдержки изделия под давлением

$$t_1 = \frac{L^2 \mu r_k}{2k_k (pr_k + 2\sigma)}. \quad (31)$$

После снятия давления следует вакуум, при котором скорость истечения сжатого воздуха через пористую структуру древесины можно оценить по уравнению [8], а время выдержки под вакуумом – по [12]:

$$\frac{du}{dt} = \frac{k_n}{\gamma_b l_0} p; \quad (32)$$

$$t_2 = \frac{l_0^2 \gamma_b}{k_n} p, \quad (33)$$

где γ_b – удельный вес воздуха в порах древесины.

После этого следует операция давления, в результате которой происходит заполнение пористого пространства древесины в соответствии с уравнением [8]:

$$L^2 = \frac{2k}{\gamma_b} pt, \quad (34)$$

причем время выдержки для этой операции

$$t_3 = \frac{L^2 \gamma_b}{2k_n} \frac{1}{p}. \quad (35)$$

Суммарное время цикла пропитки

$$T = t_1 + t_2 + t_3. \quad (36)$$

Выводы

1. Расчет параметров процесса пропитки древесины при помощи гидроудара следует рассматривать суперпозиционно, как сумму поровой и капиллярной составляющих. Предлагаемая математическая модель основана на зависимостях (11), (13), (22), (24), (25), учитывающих параметры гидравлического удара (повышение давления, амплитуду и частоту), пропиточной жидкости и древесины (вязкость и удельный вес импрегната, поверхностное натяжение, коэффициенты фильтрации капиллярного и порового пространства, радиусы пор и капилляров, доли объема образца, приходящиеся на поры и капилляры). При заданных параметрах модель позволяет рассчитать главные показатели процесса пропитки – массу и глубину проникновения импрегната в заготовку.

2. В ходе реализации математической модели установлено, что за 25 циклов повышения давления происходит пропитка образца на 25...30 см в зависимости от породы древесины, что с учетом времени цикла, составившего в расчете 60 с, показывает, что предложенные в работе конструкции установок для пропитки древесины при помощи гидроудара, а также по принципу давление–сброс–давление, превосходят известные модели, предназначенные для этих целей.

3. С учетом результатов реализации модели при организации исследований следует исходить из планов многофакторного эксперимента, подразумевающих возможность получить поверхности отклика изучаемой величины (глубины пропитки или массы впитанного импрегната) в виде полиномов второго порядка.

4. Результаты реализации модели показывают, что вклады поровой и капиллярной фильтрации сопоставимы, при этом фильтрация в порах происходит несколько медленнее, чем в капиллярах. Перспективным направлением дальнейшей работы считаем получение дополнительных сведений о проницаемости древесины отдельно по порам и капиллярам. Новые эксперименталь-

ные данные позволят решить задачу оптимизации параметров процесса пропитки в целях получения равномерно пропитанных заготовок за минимальное время обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И.В. Технологические процессы лесосечных работ с углубленной обработкой древесины // Февральские чтения: сб. материалов науч.-практ. конф. проф.-преп. состава Сыктывкар. лесн. ин-та по итогам НИР в 2015 г. Сыктывкар, 16–19 февр. 2016 г. Сыктывкар: СЛИ, 2016. С. 121–126.
2. Григорьев И.В. Повышение эффективности освоения лесосечного фонда малой концентрации // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Второй всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 65-летию высш. лесн. образования в Республике Карелия, Петрозаводск, 24 мая 2016 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. С. 62–65.
3. Куницкая О.А. Моделирование различных способов пропитки древесины полимерами // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2011. № 3. С. 131–135.
4. Куницкая О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 250 с.
5. Куницкая О.А., Базаров С.М., Ржавцев А.А., Григорьев И.В. Конструкция и теория расчета установки для пропитки древесины вязкотекучими компонентами в пьезопериодическом поле // Справ. Инженер. журн. с приложением. 2011. № 1. С. 41–43. Режим доступа: https://elibrary.ru/title_about.asp?id=8233 (дата обращения: 01.06.18)
6. Куницкая О.А., Бурмистрова С.С., Тихонов И.И., Григорьев И.В. Устройство для пропитки древесины: пат. на полезную модель. № 119283; опубл. 20.08.2012.
7. Куницкая О.А., Ржавцев А.А., Григорьев И.В., Соколова В.А. Устройство для пропитки деревянных заготовок: пат. на полезную модель. № 91927; опубл. 10.03.2010.
8. Пятакин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 304 с.
9. Baar J., Pařil P., Rozbořil T., Kúdela J. Colour Stability of Chemically Modified Oak Wood – Nanoiron and Ammonia Treatment // Proceedings of the “Eco-Efficient Resource Wood with Special Focus on Hardwoods”, Sopron, September 8–9, 2016. Sopron, Hungary, 2016. Pp. 35–36.
10. Grigorev I.V., Grigorev G.V., Nikiforova A.I., Kunitckaia O.A., Dmitrieva I.N., Khitrov E.G., Pásztor Z. Experimental Study of Impregnation Birch and Aspen Samples // BioResources. 2014. Vol. 9, iss. 4. Pp. 7018–7026. Режим доступа: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/06/BioRes_09_4_7018_Vladislavovich_VIANGP_Exper_Impreg_Birch_Aspen_6136.pdf (дата обращения: 06.10.2014).
11. Lisov V.Yu., Grigorev I.V. Determination Coefficient Filtration of Forest Soil // Proceedings of the IV International Research and Practice Conference “European Science and Technology”, Munich, April 10–11, 2013. Munich, Germany: Vela Verlag Waldkraig, 2013. Vol. I. Pp. 268–274.
12. Pařil P., Brabec M., Maňák O., Rousek R., Rademacher P., Čermák P., Dejmal A. Comparison of Selected Physical and Mechanical Properties of Densified Beech Wood Plasticized by Ammonia and Saturated Steam // European Journal of Wood and Wood Products. 2014. Vol. 72, iss. 5. Pp. 583–591.
13. Pařil P., Dejmal A. Moisture Absorption and Dimensional Stability of Poplar Wood Impregnated with Sucrose and Sodium Chloride // Maderas. Ciencia y tecnología. 2014. Vol. 16, no. 3. Pp. 299–311.

14. Rademacher P., Pařil P., Baar J., Āermák P., Rousek R., Meier D., Koch G., Schmitt U. Improvement of Wood Properties due to Impregnation of Wood with Renewable Liquids from Different Process Residues of Native Origin // Proceedings of the First COST Action FP1307 International Conference – Life Cycle Assessment, EPDs, and Modified Wood, Koper, August 25–26, 2015. Koper, Slovenia, 2015. Pp. 28–30.

15. Sablik P., Giagli K., Pařil P., Baar J., Rademacher P. Impact of Extractive Chemical Compounds from Durable Wood Species on Fungal Decay after Impregnation of Nondurable Wood Species // European Journal of Wood and Wood Products. 2016. Vol. 74, iss. 2. Pp. 231–236.

Поступила 01.06.18

UDC 674.048.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.168

Mathematical Modeling of Impregnation of Wood in Piezo Periodic Field

*O.A. Kunitskaya*¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

*S.S. Burmistrova*², External Postgraduate Student

*E.G. Khitrov*³, Associate Professor

*A.N. Minaev*³, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Yakut State Agricultural Academy, sh. Sergelyakhskoye 3 km., 3. Yakutsk, 677007, Russian Federation; e-mail: ola.ola07@mail.ru

²Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: sve2091@yandex.ru

³Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, pr. Institutskiy, 5, Saint-Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: yegorkhitrov@mail.ru, stl@spbftu.ru

Nowadays much research has been done on the methods of wood modification aimed at obtaining new structural and protective materials which have better serviceability and technical and economic features of production in comparison with available materials of similar purposes. There are known methods for modifying wood, which allow replacing non-ferrous metals in friction couples and using modified wood-based materials for protection against neutron fluxes, etc. One of the most common ways of modifying wood along with compaction is impregnating by liquids with different properties. Equipment based on the piezo periodic field effect for efficiency improvement of wood impregnation was created. The impregnation rate is higher in comparison with the other known methods since the samples are additionally exposed to pulse pressure intensification. The difference of parameters describing the filtration in wood capillaries and pores were not taken into account in previously developed mathematical models of operation of such equipment. The implementation of the developed mathematical model discovered that after 25 cycles of pressure increasing the sample will be impregnated by 25–30 cm depending on wood species. The process takes 60 seconds. This shows that the proposed designs of equipment for impregnation of wood with the use of water hammer as well as pressure – discharge – pressure principle exceed already known equipment. The results of the model implementation show that contributions of filtration in pores and capillaries are comparable. The filtration in pores is not as fast as in capillaries. We consider experiments aimed at obtaining additional data on wood permeability separately in pores and capillaries as a promising area for the further research. New experimental data will allow solving the issue of impregnation optimization in order to obtain uniformly impregnated samples in a minimum of treatment time.

For citation: Kunitskaya O.A., Burmistrova, S.S., Khitrov E.G., Minaev A.N. Mathematical Modeling of Impregnation of Wood in Piezo Periodic Field. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 168–180. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.168

Keywords: water hammer, impregnation of wood, capillary filling, model of pore space of wood.

REFERENCES

1. Grigor'yev I.V. Tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot s uglublennoy obrabotkoy drevesiny [Technological Processes of Logging Operations with Advanced Wood Processing]. *Fevral'skiye chteniya: sb. materialov nauch.-prakt. konf. prof.-prep. sostava Syktyvkar. lesn. in-ta po itogam NIR v 2015 g. Syktyvkar, 16–19 fevr. 2016* [February readings. Proceedings of the Sci.-Pract. Conf. of the Faculty of the Syktyvkar Forest Institute According to the Research Work Results in 2015, Syktyvkar, February 16–19, 2016]. Syktyvkar, SLI Publ., 2016, pp. 121–126.
2. Grigor'yev I.V. Povysheniye effektivnosti osvoyeniya lesosechnogo fonda maloy kontsentratsii [Improving of Logging Efficiency of Merchantable Volume of Low Concentration]. *Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa: materialy Vtoroy vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem, posvyashchennoy 65-letiyu vyssh. lesn. obrazovaniya v Respublike Kareliya Petrozavodsk, 24 maya 2016 g.* [Improving of Efficiency of the Forest Complex. Proceedings of the Second National Russian Sci.-Pract. Conf. with International Part., Dedicated to the 65th Anniversary of Higher Forest Education in the Republic of Karelia, Petrozavodsk, May 26, 2016], Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2016, pp. 62–65.
3. Kunitskaya O.A. Modelirovaniye razlichnykh sposobov propitki drevesiny polimerami [Modeling of Different Methods of Wood Impregnation with Polymers]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2011, no. 3, pp. 131–135.
4. Kunitskaya O.A. *Obosnovaniye napravleniy diversifikatsii obrabotki nizkoto-varnoy drevesiny na kompleksnykh lesopromyshlennykh predpriyatiyakh s ispol'zovaniyem innovatsionnykh tekhnologiy* [Objectivation of the Diversification Directions of Low-Grade Wood Processing at the Integrated Forest Enterprises with the Use of Innovative Technologies]. Saint Petersburg, SPbGLTU Publ., 2015. 250 p. (In Russ.)
5. Kunitskaya O.A., Bazarov S.M., Rzhavtsev A.A., Grigor'yev I.V. Konstruktsiya i teoriya rascheta ustanovki dlya propitki drevesiny vyazkotekuchimi komponentami v p'yezo pole [Design and Calculating Theory of the Equipment for Impregnation of Viscous-Flow Components in Piezo Shock Field]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal]. 2011, no. 1, pp. 41–43. Available at: https://elibrary.ru/title_about.asp?id=8233 (accessed 01.06.18)
6. Kunitskaya O.A., Burmistrova S.S., Tikhonov I.I., Grigor'yev I.V. *Ustroystvo dlya propitki drevesiny* [Device for Impregnation of Wood]. Useful Model Patent. No. 119283. Published 20.08.2012.
7. Kunitskaya O.A., Rzhavtsev A.A., Grigor'yev I.V., Sokolova V.A. *Ustroystvo dlya propitki derevyannykh zagotovok* [Device for Impregnation of Wood]. Useful Model Patent. No. 91927. Published 10.03.2010.
8. Patyakin V.I., Tishin Yu.G., Bazarov S.M. *Tekhnicheskaya gidrodinamika drevesiny* [Technical Hydrodynamics of Wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 304 p. (In Russ.)
9. Baar J., Pařil P., Rozbořil T., Kúdela J. Colour Stability of Chemically Modified Oak Wood – Nanoiron and Ammonia Treatment. *Proceedings of the "Eco-Efficient Resource Wood with Special Focus on Hardwoods". Sopron, September 8–9, 2016.* Sopron, Hungary, 2016, pp. 35–36.
10. Grigorev I.V., Grigorev G.V., Nikiforova A.I., Kunitckaia O.A., Dmitrieva I.N., Khitrov E.G., Pásztor Z. Experimental Study of Impregnation Birch and Aspen Samples. *BioResources*, 2014, vol. 9, iss. 4, pp. 7018–7026. Available at: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/06/BioRes_09_4_7018_Vladislavovich_VIANGP_Exp_Impreg_Birch_Aspen_6136.pdf (accessed 06.10.2014).

11. Lisov V.Yu, Grigorev I.V. Determination Coefficient Filtration of Forest Soil. *Proceedings of the IV International Research and Practice Conference "European Science and Technology", Munich, April 10–11, 2013*. Munich, Germany, Vela Verlag Waldkraigburg, 2013, vol. I, pp. 268–274.

12. Pařil P., Brabec M., Maňák O., Rousek R., Rademacher P., Āermák P., Dejmal A. Comparison of Selected Physical and Mechanical Properties of Densified Beech Wood Plasticized by Ammonia and Saturated Steam. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2014, vol. 72, iss. 5, pp. 583–591.

13. Pařil P., Dejmal A. Moisture Absorption and Dimensional Stability of Poplar Wood Impregnated with Sucrose and Sodium Chloride. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 299–311.

14. Rademacher P., Pařil P., Baar J., Āermák P., Rousek R., Meier D., Koch G., Schmitt U. Improvement of Wood Properties due to Impregnation of Wood with Renewable Liquids from Different Process Residues of Native Origin. *Proceedings of the First COST Action FP1307 International Conference – Life Cycle Assessment, EPDs, and Modified Wood, Koper, August 25–26, 2015*. Koper, Slovenia, 2015, pp. 28–30.

15. Sablík P., Giagli K., Pařil P., Baar J., Rademacher P. Impact of Extractive Chemical Compounds from Durable Wood Species on Fungal Decay after Impregnation of Non-durable Wood Species. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2016, vol. 74, iss. 2, pp. 231–236.

Received on June 01, 2018



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.73

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.181

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛАГОПРОЧНОСТИ КАРТОНА ОБРАБОТКОЙ
БИМОДИФИЦИРОВАННЫМ ГЛЮТЕНОМ***И.В. Захаров¹, асп.**Н.Л. Захарова¹, асп.**А.В. Канарский¹, д-р техн. наук, проф.**А.Н. Романова², асп.**Я.В. Казаков², д-р техн. наук, доц.**Д.А. Дулькин², д-р техн. наук*

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, alb46@mail.ru, nlzaharova@mail.ru

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

В технологии производства бумаги и картона для придания им прочности во влажном состоянии применяют синтетические связующие вещества, далеко не безвредные для человека и окружающей среды. В связи с этим весьма актуален поиск биологически безопасных связующих, в частности биополимеров, для придания влагопрочности бумаге и картону. Цель наших исследований – повышение влагопрочности картона обработкой биомодифицированным глютенем. В соответствии с поставленной целью показано влияние биокаталитически обработанного глютенена на деформационные свойства картона. Глютен пшеничный обрабатывался ферментными препаратами: гидролазой, трансферазой и липазой. При обработке картона в глютен вносили L-цистеин. Применение биомодифицированного глютенена позволяет получать биоразлагаемые волокнистые материалы с наименьшими энергозатратами из возобновляемых источников сырья. Практическая значимость работы обусловлена заменой формальдегидных смол и/или синтетических полимеров, используемых для придания прочности во влажном состоянии бумаге и картону, на биомодифицированные растительные полимеры. Показано увеличение (по отношению к контрольному образцу) прочностных характеристик картона: пропитанного биомодифицированным глютенем (трансглутаминазой) – удлинение до 19 % для продольного и поперечного направлений в сухом и влажном состояниях; пропитанного липопаном – удлинение до 28 % для продольного и поперечного направлений во влажном состоянии. Полученные результаты показывают потенциальную возможность применения биокаталитически обработанного глютенена для повышения влагопрочности бумаги и картона. Кроме того, получаемые материалы являются биоразлагаемыми.

Для цитирования: Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Романова А.Н., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Регулирование влагопрочности картона обработкой биомодифицированным глютенем // Лесн. журн. 2018. № 5. С.181–190. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.181

Ключевые слова: глютен, ферментативная обработка глютена, картон, липопан, трансглутаминаза, L-цистеин, влагопрочность.

Введение

Картон является отличным упаковочным материалом ввиду относительной легкости, хороших физико-механических свойств и возможности переработки. Однако его применение сдерживается высокой гидрофильностью и слабыми физико-механическими характеристиками во влажном состоянии [4].

Увеличение влагопрочности картона главным образом связано с применением покрытий на основе дешевых и доступных синтетических полимеров: полиолефинов (полиэтилена), сополимера этилена и винилового спирта (EVOH), мочевино- и меламиноформальдегидных смол и т. д. Тем не менее, из-за ограниченности запасов углеводородных ископаемых и сложности рециклинга увеличился интерес к биополимерным покрытиям.

Обладающие биоразлагаемостью, биосовместимостью и нетоксичностью биополимеры в качестве барьерных покрытий для бумажной продукции могут заменить существующие синтетические материалы [5, 7].

Для картона изучены такие биополимерные покрытия, как полисахариды (крахмал, производные целлюлозы, хитозан, альгинаты), протеины (казеин, сыворотка, коллаген, соя, пшеничный глютен [1]), липиды (пчелиный и карнаубский воск), высшие жирные кислоты и полиэфиры (полигидроксиполканоаты и полимолочная кислота) [3, 6]. Физико-механические и деформационные характеристики биополимерных покрытий зависят от влажности окружающей среды, поэтому для увеличения прочности во влажном состоянии они должны быть биомодифицированы.

Цель исследования – улучшение физико-механических свойств картона во влажном состоянии путем поверхностной обработки его глютеном, модифицированным ферментами.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является картон крафт-лайнер (плотностью 130 г/м² и толщиной 200 мкм), пропитанный глютеном пшеничным (ГОСТ Р 53511–2009), который обрабатывали ферментами: трансферазой – трансглутаминазой, липазой – липопаном Xtra БГ (пентопан 500 БГ), L-цистеином.

Биокаталитически обработанный глютен наносили на волокнистый материал, варьируя расход от 4,0 до 4,5 % по отношению к абсолютно сухой массе картона. Расход был выбран исходя из [1]. Исследованы следующие образцы картона, пропитанного в щелочной среде глютеном, биокаталитически обработанным по различным вариантам:

- 1 – L-цистеином (расход – 4,5 %);
- 2 – липопаном Xtra БГ (расход – 4,5 %);
- 3 – трансглутаминазой (расход – 4,0 %);
- 4 – смесью трансглутаминазы, пентопана 500 БГ и L-цистеина в равных частях (расход – 4,5 %).

В качестве контрольного образца использован картон крафт-лайнер без пропитки.

При модификации глютен обрабатывали ферментными препаратами в течение 24 ч при температуре 50 °С и постоянном перемешивании во встряхивателе с водяной баней. Картон в виде прямоугольника 5×10 см пропитывали погружением одной стороны в приготовленный раствор, при этом одна часть глютена проникала в структуру, другая – формировала на поверхности картона пленку. После пропитки картон сушили контактным способом.

Для оценки физико-механических и деформационных свойств волокнистых материалов использовали стандартные методы. Толщину (δ , мкм) определяли микрометром в нескольких точках, за результат принимали среднее значение (ГОСТ 27015–86). Жесткость при растяжении (S , кН/м), разрушающее напряжение (σ , МПа), удлинение при разрыве (Δl , мм), энергию, поглощаемую при растяжении (ТЕА, Дж/м²), находили по индикаторным диаграммам нагрузка–удлинение, полученным на разрывной машине «Тестсистема 101» (по ГОСТ Р ИСО 1924-2–96) и обработанным по методике Комарова–Казакова [2]. Свойства картона во влажном состоянии при кратковременном смачивании оценивали по методике ГОСТ 13525.7–68.

Все испытания проводили на образцах картона шириной 15 мм, вырезанных в продольном (MD) и поперечном (CD) направлениях. При испытаниях на растяжение рабочая длина образцов – 50 мм, скорость растяжения – 20 мм/мин.

ИК-спектры записывали методом нарушенного полного внутреннего отражения (ATR) на спектрометре Nicolet iS5 FTIR (производитель Thermo Scientific). Обработку данных с последующим построением графиков осуществляли с использованием программного обеспечения OMNIC.

Результаты исследования и их обсуждение

ГОСТ 13525.7–68 определяет влагопрочность как относительную величину прочности на растяжение образцов бумаги после кратковременного смачивания по отношению к прочности на растяжение сухого образца. Аналогично вычисляли относительные величины деформационных и прочностных характеристик картона при растяжении (прочности, разрушающей нагрузки, жесткости, относительного удлинения и энергии), и их принимали за влагопрочность (ВП). Результаты испытаний сухих и влажных образцов картона представлены в таблице.

Все проанализированные характеристики картона можно разделить на те, которые оценивают разрывное усилие как характеристику образца и разрушающее напряжение как характеристику материала, поскольку в результате обработки изменяется толщина образца; жесткость при растяжении определяется как тангенс угла наклона кривой напряжение – деформация; растяжимость – удлинение до разрыва; динамическая прочность ТЕА – интегральную оценку прочности и растяжимости, определяемую как площадь под кривой нагрузка–удлинение.

Характеристики влагопрочности картона при обработке биомодифицированным глютенем

Характеристика δ , мкм	Состояние образца	Контроль (205)	Вариант обработки			
			1 (217)	2 (223)	3 (220)	4 (225)
<i>Машинное направление MD</i>						
F , Н	Сухое	271	244	261	284	246
	Влажное	89	65	84	66	47
	ВП, %	33,0	26,7	32,1	23,3	19,2
σ , МПа	Сухое	88	75	78	86	73
	Влажное	29	20	25	20	14
	ВП, %	33,0	26,7	32,1	23,3	19,2
S_t , кН/м	Сухое	750	715	740	750	660
	Влажное	330	220	250	280	220
	ВП, %	44,0	30,8	33,8	37,3	33,3
Δl , мм	Сухое	1,68	1,53	1,53	1,97	1,44
	Влажное	1,01	1,12	1,29	0,90	0,75
	ВП, %	60,1	73,2	84,3	45,7	52,1
ТЕА, Дж/м ²	Сухое	340	265	300	445	250
	Влажное	60	55	75	40	25
	ВП, %	17,6	20,8	25,0	9,0	10,0
<i>Поперечное направление CD</i>						
F , Н	Сухое	76,9	74,5	76,3	77,6	77,6
	Влажное	21,3	21,1	24,2	22,0	20,3
	ВП, %	27,8	28,3	31,7	28,4	26,2
σ , МПа	Сухое	25,0	22,9	22,8	23,5	23,0
	Влажное	6,9	6,5	7,2	6,7	6,0
	ВП, %	27,8	28,3	31,7	28,4	26,2
S_t , кН/м	Сухое	295	285	235	280	255
	Влажное	40	35	42	35	30
	ВП, %	13,6	12,3	14,9	12,5	11,8
Δl , мм	Сухое	2,66	2,93	2,53	3,16	3,12
	Влажное	2,21	2,05	2,84	2,63	2,27
	ВП, %	83,1	70,0	112,3	83,2	72,8
ТЕА, Дж/м ²	Сухое	190	210	180	235	230
	Влажное	30	30	45	40	30
	ВП, %	15,8	14,3	25,0	17,0	13,0

Примечание. В скобках – толщина образцов δ , мкм.

Влияние пропитки глютенем на разные свойства картона выражается по-разному. Пропитка картона глютенем и повторная сушка приводят к увеличению толщины образца на 12...20 мкм. При этом возрастание разрывной нагрузки происходит в машинном направлении для сухого картона с 3-м вариантом обработки и в поперечном направлении для влажного со 2-м и 3-м вариантами обработки. Однако при пересчете нагрузки в единицы напряжения за счет увеличения толщины снижается разрушающее напряжение пропитанных образцов.

На рис. 1 и 2 представлены относительные изменения деформационных, прочностных характеристик и влагопрочности для различных образцов картона.

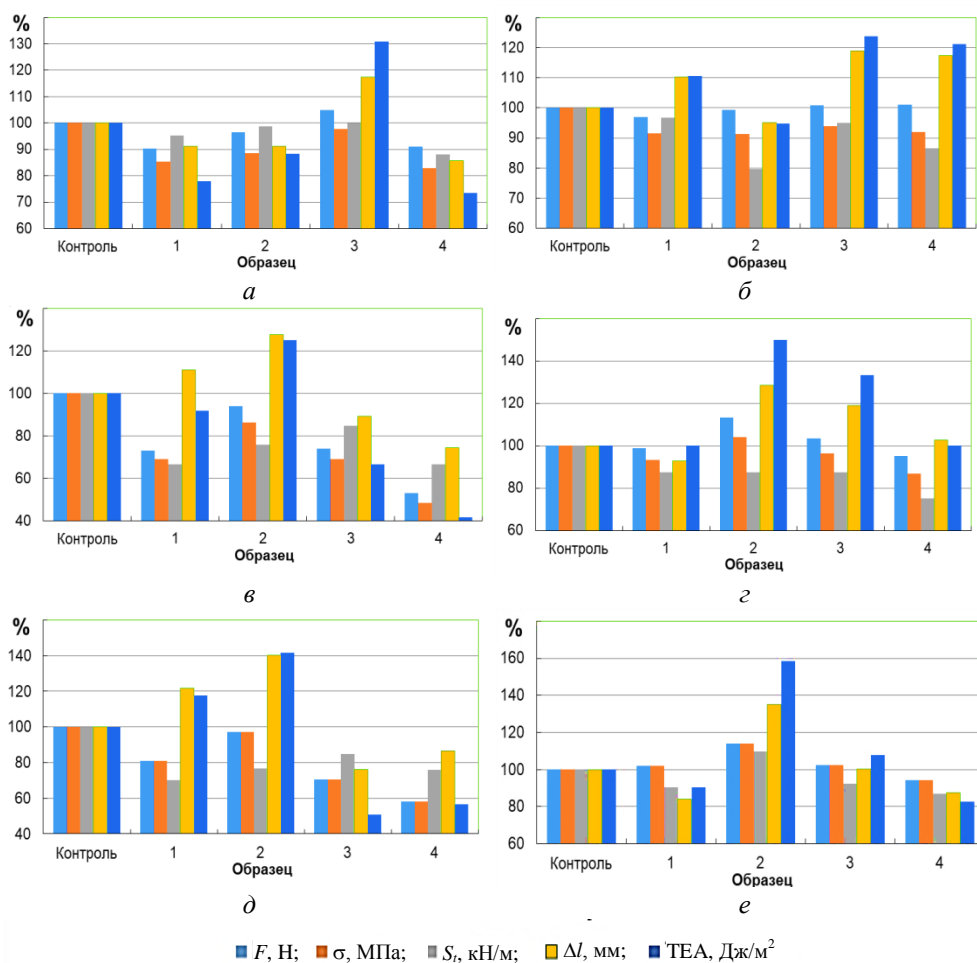


Рис. 1. Влияние пропитки биомодифицированным глютенем на относительное изменение деформационных и прочностных характеристик картона в MD (*a*, *в*, *д*) и CD (*б*, *г*, *е*) направлениях: *a*, *б* – сухие образцы; *в*, *г* – влажные образцы; *д*, *е* – влагопрочность

Fig. 1. The effect of impregnation with biомодифицированным глютенем on the relative change in deformation and strength parameters of cardboard in MD (*a*, *в*, *д*) and CD (*б*, *г*, *е*) directions: *a*, *б* – dry samples; *в*, *г* – wet samples; *д*, *е* – wet strength

Пропитка картона биомодифицированным глютенем не повышает жесткость образцов при растяжении, а во влажном состоянии снижает ее.

Деформационные характеристики, оценивающие растяжимость и влагопрочность, наоборот, увеличиваются при пропитке, особенно в поперечном направлении. Сравнивая значения этих показателей можно сделать вывод, что использование биомодифицированного глютена улучшает деформационные характеристики картона.

Пропитка картона модифицированным глютенем приводит к увеличению показателей картона:

в сухом состоянии:

энергии при растяжении на 10,5 % и удлинения на 10 % – при обработке L-цистеином (испытания в поперечном направлении, рис. 1, *б*);

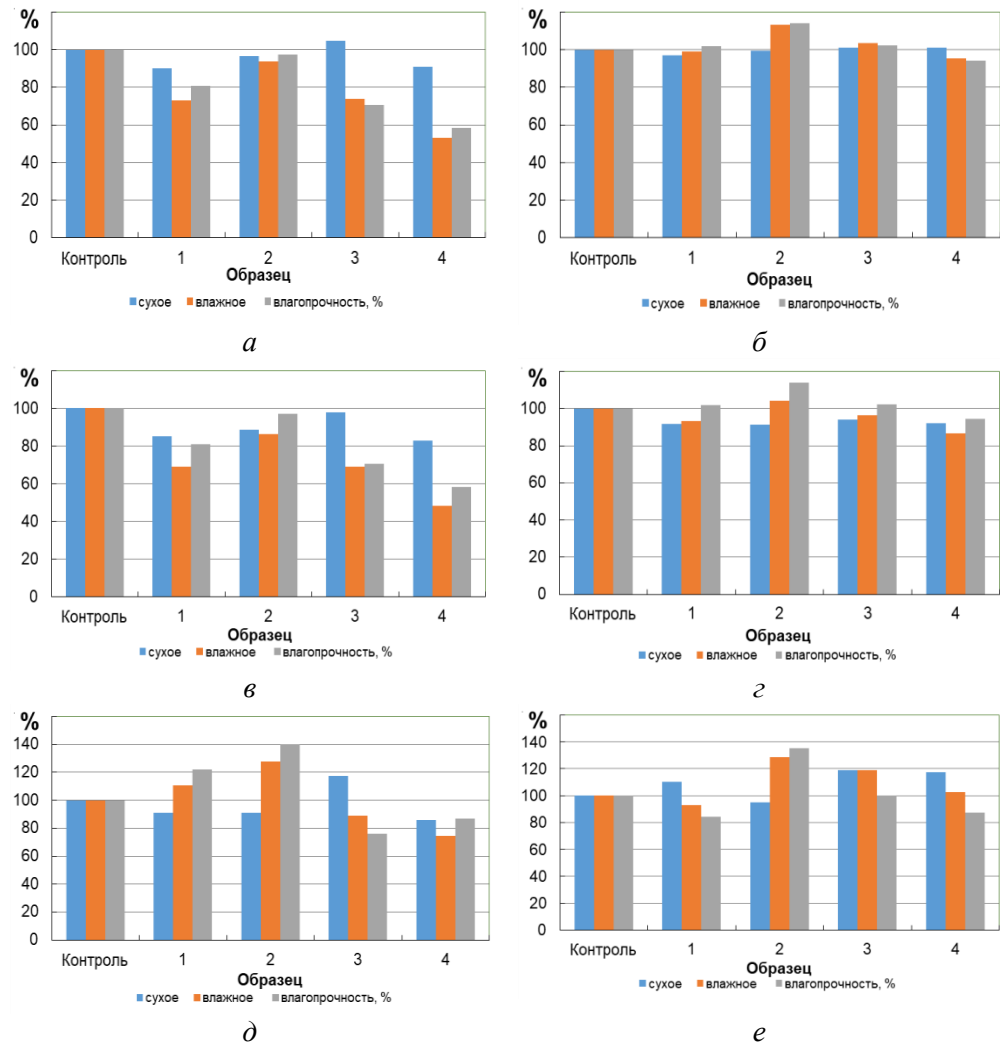


Рис. 2. Влияние пропитки биомодифицированным глютенем на относительное изменение характеристик влагопрочности картона в MD (*a*, *в*, *д*) и CD (*б*, *г*, *е*) направлениях: *a*, *б* – разрушающая нагрузка; *в*, *г* – жесткость при растяжении; *д*, *е* – удлинение при разрыве

Fig. 2. The effect of impregnation with biomodified gluten on the relative change in wet strength parameters of cardboard in MD (*a*, *в*, *д*) and CD (*б*, *г*, *е*) directions: *a*, *б* – destructive load; *в*, *г* – tension stiffness; *д*, *е* – elongation at break

энергии при растяжении на 30,4 и 24,7 % и удлинения на 17,3 и 18,8 % – при обработке трансклутаминой (соответственно в машинном и поперечном направлениях, рис. 1, *a*, *б*);

энергии при растяжении на 21,1 % и удлинения на 17,3 % – при обработке смесью L-цистеина, трансклутамины и пентопана 500 БГ (в поперечном направлении, рис. 1, *б*);

разрушающей нагрузки при растяжении на 4,8 % – при обработке трансклутаминой (в машинном направлении, рис. 1, *a*, рис. 2, *a*);

удлинения при растяжении на 17,3 % – при обработке транглутаминазой (в машинном направлении, рис. 1, а, рис. 2, д);

удлинения при растяжении на 10,2 % при обработке L-цистеином, на 18,8 % – транглутаминазой, на 17,3 % – смесью транглутаминазы, пентопана 500 и L-цистеина (в поперечном направлении, рис. 1, з, рис. 2, е);

во влажном состоянии:

удлинения при растяжении на 10,9 % – при обработке L-цистеином (в машинном направлении, рис. 1, в) и на 27,7 % – при обработке липопаном (в машинном направлении, рис. 2, д);

энергии при растяжении на 25,0 и 28,5 % и удлинения на 27,7 и 28,5 % – при обработке липопаном (соответственно в машинном и поперечном направлениях, рис. 1, в, з);

энергии при растяжении на 33,3 % и удлинения на 19,0 % – при обработке транглутаминазой (в поперечном направлении, рис. 1, з, рис. 2, е);

разрушающей нагрузки при растяжении на 13,6 % – при обработке липопаном, на 4,8 % – транглутаминазой (в поперечном направлении, рис. 1, з, рис. 2, б);

жесткости при растяжении на 5 % – при обработке липопаном (в поперечном направлении, рис. 1, з, рис. 2, з);

удлинения при растяжении на 28,5 % – при обработке липопаном, на 19 % – транглутаминазой, на 27 % – смесью транглутаминазы, пентопана 500 БГ и L-цистеина (в поперечном направлении, рис. 1, з, рис. 2, е).

На рис. 3 можно увидеть снижение интенсивности полос ИК-спектра поглощения в области целлюлозы и увеличение – в области поглощения белка при обработке картона биомодифицированным глютенем.

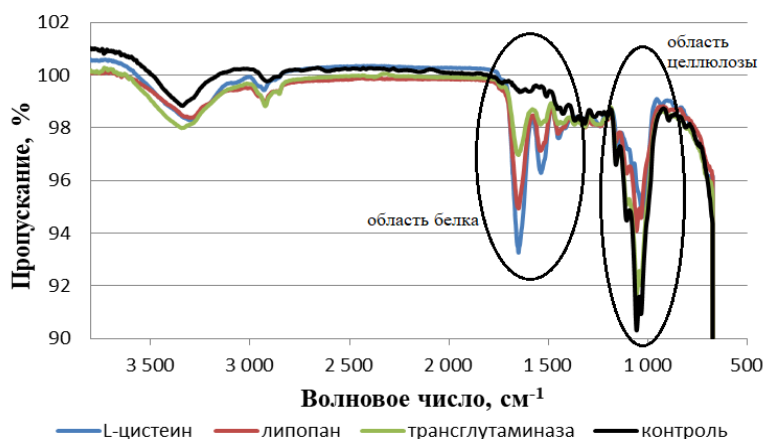


Рис. 3. ИК-спектры исходного и обработанных глютенем образцов картона

Fig. 3. IR-spectra of the initial and gluten treated cardboard samples

По-видимому, биомодифицированный глютен образует с целлюлозой в сухом состоянии менее прочные связи, чем водородные в целлюлозных волокнах, но действие их сохраняется во влажном состоянии. Именно поэтому

обработка белками вызывает уменьшение прочности картона в сухом состоянии. Проникая в структуру картона, белок, обладающий гидрофобностью, во влажном состоянии препятствует разрушению водородных связей. Этим можно объяснить увеличение влагопрочности картона, оцениваемой по растяжимости материала.

Заключение

Обработка картона биомодифицированным глютенем приводит к разнонаправленному изменению прочностных и деформационных свойств. При пропитке картона глютенем, биомодифицированным липопаном и трансглутаминазой, происходит увеличение характеристик растяжимости во влажном состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Окулова Е.О., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютенем // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 135–144. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135.
2. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2000. № 3. С. 52–62.
3. Andersson C. New Ways to Enhance the Functionality of Paperboard by Surface Treatment – a Review // Packaging Technology and Science. 2008. Vol. 21, iss. 6. Pp. 339–373.
4. Bellussi G., Bohnet M., Bus J., Drauz K., Greim H., Jäckel K.-P., Karst U., Klee-mann A., Kreysa G., Laird T., et al. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Vol. 32. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2000. Pp. 145–167.
5. Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2010. Vol. 9, iss. 1. Pp. 82–91.
6. Renirie J.G., Van Der Meijden J.A.A., Plijter J.J., Van Soest J. Flour-Based Product, Its Preparation and Use, the United States of America, Pat. No. US 8,329,989 B2, 2012.
7. Tang X.Z., Kumar P., Alavi S., Sandeep K.P. Recent Advances in Biopolymers and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2012. Vol. 52, iss. 5. Pp. 426–442.

Поступила 01.03.18

UDC 676.73

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.181

Regulation of Cardboard Wet Strength by Biomodified Gluten Treatment*I.V. Zakharov¹, Postgraduate Student**N.L. Zakharova¹, Postgraduate Student**A.V. Kanarskiy¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor**A.N. Romanova², Postgraduate Student**Ya.V. Kazakov², Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor**D.A. Dul'kin², Doctor of Engineering Sciences*

¹Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, nlzakarova@mail.ru, alb46@mail.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Synthetic binders are used in technology of paper and cardboard production in order to enhance final product strength in wet state. These substances are far from being harmless beings to humans and the environment. Therefore it is very important to find biologically safe substance for wet-strengthening of paper and cardboard, for instance, biopolymers. The purpose of the research is the increasing of wet strength of cardboard by biomodified gluten treatment. The effect of biocatalytically treated gluten on the deformation properties of cardboard is shown in accordance with the purpose of the research. Wheat gluten was treated by enzymatic preparations: hydrolase, transferase and lipase. Amino acid L-cysteine was added to gluten for cardboard treatment. The use of biomodified gluten as a biopolymer allows obtaining biodegradable fibrous materials with the lowest energy costs from renewable sources. Practical significance of the research is determined by replacement of formaldehyde resins and/or synthesized polymers, which are used to enhance the strength of paper and cardboard in wet state, to biomodified plant polymers. The increase (in relation to the blank sample) of the strength properties of cardboard: impregnated with biomodified gluten (transglutaminase) showed elongation up to 19%, for length and width directions in dry and wet states; impregnated with lipopan showed elongation up to 28%, for length and width directions in wet state. The obtained results show the potential application of biocatalytically treated gluten for increasing the wet strength of cardboard. The obtained materials are biodegradable.

Keywords: gluten, enzymatic treatment of gluten, cardboard, lipopan, transglutaminase, L-cysteine, wet strength.

REFERENCES

1. Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Okulova E.O., Kazakov Ya.V., Dul'kin D.A. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva kartona, obrabotannogo biomodifitsirovannym glyutenom [Physical and Mechanical Properties of Cardboard Treated with Biomodified Gluten]. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 6, pp. 135–144.
2. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Analiz mekhanicheskogo povedeniya tsellyulozno-bumazhnykh materialov pri prilozhenii rastyagivayushchey nagruzki [Analysis of Mechan-

For citation: Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Romanova A.N., Kazakov Ya.V., Dul'kin D.A. Regulation of Cardboard Wet Strength by Biomodified Gluten Treatment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 181–190. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.5.181

ics of Pulp and Paper Materials when Applying a Tensile Load]. *Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2000, no. 3, pp. 52–62.

3. Andersson C. New Ways to Enhance the Functionality of Paperboard by Surface Treatment – a Review. *Packaging Technology and Science*, 2008, vol. 21, iss. 6, pp. 339–373.

4. Bellussi G., Bohnet M., Bus J., Drauz K., Greim H., Jäckel K.-P., Karst U., Klee-
mann A., Kreysa G., Laird T., et al. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wein-
heim, Germany, Wiley-VCH, 2000, vol. 32, pp. 145–167.

5. Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Pack-
aging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2010, vol. 9,
iss. 1, pp. 82–91.

6. Renirie J.G., Van Der Meijden J.A.A., Plijter J.J., Van Soest J. *Flour-Based Prod-
uct, Its Preparation and Use*, the United States of America, Pat. No. US 8,329,989 B2,
2012.

7. Tang X.Z., Kumar P., Alavi S., Sandeep K.P. Recent Advances in Biopolymers
and Biopolymer-Based Nanocomposites for Food Packaging Materials. *Critical Reviews in
Food Science and Nutrition*, 2012, vol. 52, iss. 5, pp. 426–442.

Received on March 01, 2018

Поздравляем!

АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ ТАРАКАНОВ – УЧЕНЫЙ-ЛЕСОВОД

26 октября 2018 г. отмечает 75-летний юбилей Анатолий Михайлович Тараканов – главный научный сотрудник ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ), доктор сельскохозяйственных наук, видный ученый в области повышения продуктивности таежных лесов.

А.М. Тараканов после окончания Няндомской средней школы учился на факультете лесного хозяйства Архангельского лесотехнического института им. В.В. Куйбышева (АЛТИ). В период учебы занимался в научном студенческом обществе, активно участвовал в спортивной и общественной жизни института. Во время производственных практик освоил многие рабочие специальности. После третьего курса уже работал техником, на преддипломной практике – помощником лесничего и лесничим.

После окончания института в 1965 г. был призван в армию, краткосрочную службу проходил в морской пехоте. Затем работал инженером в лес-промхозе. В конце 1966 г. Анатолий Михайлович был приглашен в Архангельский институт леса и лесохимии (ныне СевНИИЛХ), где прошел путь от младшего до главного научного сотрудника и заведующего лабораторией таежных экосистем и биоразнообразия. На кафедре экономики АЛТИ читал лекции по экономике лесного хозяйства.

В 1986 г. А.М. Тараканов защитил кандидатскую диссертацию «Рост и товарная структура осушенных сосняков северо-востока европейской части РСФСР», в 2007 г. – докторскую диссертацию «Рост осушаемых лесов Европейского Севера и ведение хозяйства в них». Более 50 лет своей научной деятельности Анатолий Михайлович посвятил исследованию таежных лесов Европейского Севера России, повышению их продуктивности и рационального неистощительного пользования. Был руководителем и ответственным исполнителем более 50 научно-исследовательских работ. Обследовал тысячи гектаров тайги, привел в известность объекты гидролесомелиорации конца XIX – начала XX вв. Заложил большое количество пробных площадей и множество опытов для изучения результативности мероприятий по использованию и воспроизводству лесов на севере России.



В результате многолетней плодотворной научной деятельности юбиляра установлены эколого-фитоценотические особенности изменения природы, закономерности роста, формирования и строения древостоев под влиянием гидролесомелиорации, лесоводственных уходов и различных видов рубок; разработаны математические модели водного режима почв для различных сочетаний типов почвогрунтов и параметров осушительной сети; предложена классификация избыточно-увлажненных лесов по типам леса, почв, водно-минеральному питанию и группам эффективности гидромелиорации; созданы динамическая типология осушаемых лесов, система лесоводственных и лесотаксационных нормативов для оценки продуктивности лесов и качества лесных ресурсов, модели хода роста осушаемых лесов, сортиментные и товарные таблицы древостоев, испытавших мелиоративное воздействие; теоретически обоснованы способы ведения лесного хозяйства и лесопользования в мелиорируемых лесах; критерии, показатели и методы оценки экономической эффективности лесохозяйственных мероприятий; на основе комплексного подхода к изучению экосистемы «экопот-фитоценоз», взаимосвязей лесной растительности с условиями местопроизрастания, влияния различных факторов на изменение элементов экосистем построена имитационная модель их функционирования, позволяющая прогнозировать последствия антропогенных воздействий, оптимизировать систему хозяйствования и достигать желаемых целей.

Результаты исследований приведены в 140 научных публикациях, 4 монографиях, многих методических рекомендациях и справочниках. Анатолий Михайлович активный участник всесоюзных и всероссийских конференций.

А.М. Тараканов – член Межведомственного научно-технического совета по гидролесомелиорации, научной секции «Гидролесомелиорация» при Отделении земледелия, мелиорации и лесного хозяйства Россельхозакадемии, Международного союза лесных исследовательских организаций, член диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Научная деятельность А.М. Тараканова отмечена дипломами и медалью конкурса научно-исследовательских и внедренческих работ по проблемам окружающей среды имени М.В. Ломоносова, дипломом и Европейской медалью за профессиональную деятельность, знаком «За сбережение и приумножение лесных богатств России», почетными знаками Государственного комитета по лесу СССР, почетными грамотами администрации Архангельской области. Он удостоен звания «Ветеран труда, является мастером спорта СССР.

В 1984–1988 гг. избирался в Архангельский городской Совет народных депутатов.

Анатолий Михайлович с большим энтузиазмом внедряет свои научные достижения в производственную практику и делится ими с коллегами.

С юбилеем Вас, дорогой Анатолий Михайлович!

Б.В. Ермолин¹, Е.А. Сурина², О.А. Сеньков², А.В. Дворяшин²

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства
