

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

3/351

2016

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Богданович Н.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
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., академик РАН (Россия, Москва)
Куров В.С., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Малыгин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)
Матвеева Р.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)
Мерзленко М.Д., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)
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., 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)
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)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Бабич Н.А. – председатель, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Билей П.В., д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
Залесов С.В., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Мясищев Д.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Наквасина Е.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific journal

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

3/351

2016

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
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)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zürich)
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)
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)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Babich N.A. – Chairman, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Biley P.V., Doctor of Engineering, Prof., Member of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
Zalesov S.V., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Myasishchev D.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Nakvasina E.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.С. Шалаев, В.К. Тепляков.</i> Анализ участия отечественных представителей в съездах и конгрессах ИЮФРО.....	9
<i>С.В. Залесов, А.В. Данчева, А.В. Эбель, Е.И. Эбель.</i> Лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника.....	21
<i>Н.В. Ковылин, О.П. Ковылина, Н.В. Сухенко.</i> Особенности взаимоотношения древостоя и напочвенного покрова в искусственных фитоценозах <i>Populus balsamifera</i> L. и <i>Populus nigra</i> L.....	31
<i>М.В. Устинов, О.И. Глушенков, Р.С. Корсинов.</i> Математическое моделирование схемы типов леса сосняков Брянской области на основе ресурсно-экологического районирования.....	42
<i>Л.В. Зарубина.</i> Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на Севере России.....	52
<i>А.А. Афонин, С.А. Зайцев.</i> Цикличность среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой (<i>Salix alba</i> L.) в условиях Брянского лесного массива.....	66
<i>Н.А. Демидова, С.В. Ярославцев, Т.М. Дуркина, И.В. Федотов, А.С. Ильинцев.</i> Ход роста тополей невского (<i>Populus × Newesis bogd.</i>) и волосистоплодного (<i>P. trichocarpa</i> Torr. et Gray) в условиях Европейского Севера России.....	77
<i>Ю.И. Макаров.</i> Особенности роста и развития ели обыкновенной под влиянием внутривидового полиморфизма.....	87

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.В. Посыпанов.</i> Комплексная оценка прочностных характеристик плавающего пакета круглых лесоматериалов.....	98
<i>С.П. Санников, Э.Ф. Герц, А.А. Дьячкова.</i> Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины.....	109

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Г.Ф. Прокофьев, О.Л. Коваленко.</i> Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее натяжении... ..	117
<i>А.А. Тамби, А.Н. Чубинский.</i> Оценка соответствия плотности древесины требованиям к продукции деревообрабатывающих производств.....	124
<i>О.А. Куницкая, А.Е. Лукин, Г.Н. Колесников, Е.А. Тихонов, Т.В. Тюрикова.</i> Численное моделирование процесса окорки длинномерных сортиментов в барабанах.....	135

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Ф.Х. Хакимова, К.А. Синяев, Д.Р. Нагимов.</i> Экологически надежная технология отбеливания сульфитной целлюлозы.....	147
<i>О.С. Беляев, Я.В. Казаков.</i> Использование неразрушающих методов контроля качества крафт-лайнера.....	157
<i>С.Н. Долгобородова, Н.И. Богданович, Т.С. Мауричева.</i> Актуальность применения газожидкостных смесей для интенсификации очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий.....	171

ЮБИЛЕИ

<i>В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, И.В. Евдокимов.</i> В строю настоящих лесоводов (к 70-летию М.Д. Мерзленко).....	178
---	-----



CONTENTS

FORESTRY

V.S. Shalaev, V.K. Teplyakov. Analysis of the National Representatives' Participation in the IUFRO Conventions and Congresses.....	9
S.V. Zalesov, A.V. Dancheva, A.V. Ebel', E.D. Ebel'. Silvicultural Effectiveness of Improvement Cutting in the Pine Forests of Kazakh Upland.....	21
N.V. Kovylin, O.P. Kovyлина, N.V. Sukhenko. Relation Features of Forest Stands and Ground Vegetation in Artificial Phytocenosis of <i>Populus Balsamifera</i> L. and <i>Populus Nigra</i> L.....	31
M.V. Ustinov, O.I. Glushenkov, R.S. Korsikov. Mathematical Modeling of the Scheme of the Pine Forest Types of Bryansk Region on the Basis of the Resource and Ecological Zoning.....	42
L.V. Zarubina. Natural Regeneration of Spruce in the Small-Leaved Forests in the North of Russia.....	52
A.A. Afonin, S.A. Zaytsev. Cyclicity of the Average Daily Radial Growth of Bearing Shoots of European Willow (<i>Salix Alba</i> L.) in the Bryansk Forestland.....	66
N.A. Demidova, S.V. Yaroslavtsev, T.M. Durkina, I.V. Fedotov, A.S. Il'intsev. The Growth Course of Neva Poplar (<i>Populus x newesis</i> Bogd.) and Californian Poplar (<i>Populus trichocarpa</i> Torr. et Gray) in the European North of Russia.....	77
Yu.I. Makarov. Fir Spruce Growth and Development Under the Influence of Intraspecific Polymorphism.....	87

WOODEXPLOITATION

S.V. Posypanov. Comprehensive Assessment of the Strength Characteristics of a Floating Roundwood Bundle	98
S.P. Sannikov, E.F. Gerts, A.A. D'yachkova. Methodology of Remote Monitoring of Forest Stands and Transport Wood Flows.....	109

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

G.F. Prokofev, O.L. Kovalenko. Determination of the Stress Concentration Factor in the Tooth Space of a Band Saw under Tension.....	117
A.A. Tambi, A.N. Chubinskiy. Wood Density Evaluation of Compliance of the Woodworking Industries Production.....	124
O.A. Kunitskaya, A.E. Lukin, G.N. Kolesnikov, E.A. Tikhonov, T.V. Tyurikova. Numerical Modeling of Long Logs Barking in the Barking Drums.....	135

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>F.Kh. Khakimova, K.A. Sinyaev, D.R. Nagimov. Environmentally Sound Technology of Sulphite Pulp Bleaching.....</i>	147
<i>O.S. Belyaev, Ya.V. Kazakov. Using Non-Destructive Methods of Kraft Liner Quality Control.....</i>	157
<i>S.N. Dolgoborodova, N.I. Bogdanovich, T.S. Mauricheva. The Relevance of Application of Gas Liquid Mixtures for the Wastewater Treatment Intensification of the Pulp and Paper Mills.....</i>	171

JUBILEES

<i>V.I. Melekhov, N.A. Babich, I.V. Evdokimov. In the Ranks of the Real Arborists (To the 70th Anniversary of M.D. Merzlenko).....</i>	178
--	-----



УДК 630*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.9

АНАЛИЗ УЧАСТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ В СЪЕЗДАХ И КОНГРЕССАХ ИЮФРО

В.С. Шалаев¹, д-р техн. наук, проф.

В.К. Тепляков², канд. с.-х. наук, проф.

¹Московский государственный университет леса, 1-ая Институтская ул., д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

²Сеульский государственный университет, SNU, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea (Rep); e-mail: teplyakovv@gmail.com

Международный союз лесных исследовательских организаций – ИЮФРО является одной из старейших международных организаций, связанных с природными ресурсами, в первую очередь с лесами, их охраной, воспроизводством и рациональным использованием. Основанный в 1892 г. тремя немецко-говорящими странами Центральной Европы (Австрией, Германией и Швейцарией), он превратился в глобальную организацию, представленную более 15 тыс. ученых и практиков, работающих в почти 700 членских организациях из более чем 110 стран мира. С 1947 г. в состав ИЮФРО вошли 15 организаций нашей страны. В 1930–1960-х гг. российские ученые не участвовали в съездах ИЮФРО. Прорыв случился после съездов в 1961–1967 гг., и с тех пор Россия (СССР) была представлена во всех конгрессах и в правлении ИЮФРО. Участие российских ученых, преподавателей и администраторов началось в 1896 г., когда Россия впервые приняла участие в съезде Союза. С тех пор, проф. Г.Ф. Морозов и другие представляли нашу страну в этой организации. Среди них следует выделить, в первую очередь, академиков В.Н. Сукачева, И.С. Мелехова, Н.П. Анучина, А.С. Исеева, Н.А. Моисеева. В статье сделан вывод о том, что участие отечественных ученых и преподавателей, студентов и аспирантов, административных работников в деятельности ИЮФРО и его руководящих органов, особенно в современный период, очень важно и необходимо для решения задач интеграции российской лесной науки в международное научное пространство. Вместе с тем, для увеличения вклада российской лесной науки необходимо существенно повысить размер и качество государственной поддержки в этом вопросе. Современный уровень участия российских специалистов лесного сектора в деятельности ИЮФРО позволяет выразить надежду на определен-

ное развитие и дальнейшую интеграцию российской лесной науки в международное научное пространство.

Ключевые слова: история, Международный союз лесных исследовательских организаций, российские организации, лесная наука.

Введение

Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО–IUFRO (International Union of Forest Research Organizations)) является одной из старейших международных организаций, связанных с природными ресурсами, в первую очередь лесами, их охраной, воспроизводством и рациональным использованием. Основанный в 1892 г. тремя немецкоговорящими странами Центральной Европы (Австрией, Германией и Швейцарией), он превратился в глобальную организацию, где представлено более 15 тыс. ученых и практиков, работающих в почти 700 членских организациях из более чем 110 стран мира [6].

Мировое сообщество, отмечая, наряду с бескрайними лесами, успехи России в развитии лесного дела, наук о лесе, лесного образования, огромный вклад в создание целостной системы борьбы с засухой и другие достижения, пригласило нашу страну к вступлению в ИЮФРО (в то время Международный союз лесных опытных станций) с самых первых лет.

На Ассамблее союза в Брауншвейге (1896 г.) участники бурно выразили восторг после объявления председательствующего о том, что г-н В.А. Тихонов, статский советник, вице-директор Лесного департамента России, и г-н С.Г. Холмерц, директор Стокгольмского лесного института в Швеции, официально озвучили решение стран стать членами организации [9]. По свидетельству И.С. Мелехова, Россия активно включилась в работу уже с 1897 г. [2]. Начиная с 1947 г., в состав ИЮФРО вошли 15 организаций нашей страны (табл. 1). При этом ИЮФРО дал возможность стать своими членами неправительственным организациям и ассоциативными членами – многим ученым, организации которых не были на определенный момент времени членами этого Международного союза.

Среди них следует назвать настоящих энтузиастов-исследователей леса докторов и кандидатов наук В.А. Усольцева (УГЛТА, Екатеринбург), В.Ю. Нешатаева (СПбГЛТА, Санкт-Петербург), В.Ю. Нешатаеву (Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург), А.Б. Ястребова (СПбГУ, Санкт-Петербург), Н.В. Старову (Ботанический сад УрО АН СССР, Уфа), И.А. Яковлева (Волготех, Йошкар-Ола), А. Сирина, А.П. Лалетина (НПО «Друзья Сибирских лесов», Красноярск). Среди ассоциативных членов ИЮФРО есть наши соотечественники и за рубежом, например, М. Козлов (Финляндия).

Таблица 1

Организации-члены ИЮФРО от России

Год вступления в ИЮФРО	Номер в реестре ИЮФРО	Организация
1947	143	Институт леса им. В.Н. Сукачева (ранее Институт леса и древесины) Сибирского отделения РАН
1976	392	Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ)
1990	647	Московский государственный университет леса (ранее Московский лесотехнический институт)
1990	656	Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства
1990	657	Всероссийский научно-исследовательский информационный центр по лесным ресурсам
1990	658	Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии (ранее Центральный научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции)
1993	718	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (ранее Ленинградская лесотехническая академия) имени С.М. Кирова
1993	719	Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства (СПбНИИЛХ), ранее Ленинградский научно-исследовательский институт лесного хозяйства
1998	819	Поволжский государственный технологический университет, ранее Марийский государственный технологический университет
2000	849	Международный союз охраны природы, Российское представительство для России и стран СНГ
2002	871	Сибирский государственный технологический университет
2003	889	Уральский государственный лесотехнический университет (ранее Уральская государственная лесотехническая академия)
2005	899	Некоммерческое партнерство стратегический альянс «Здоровый лес»
2006	926	Биолого-почвенный институт Дальневосточного отделения РАН
2008	941	Лесоинженерный факультет Петрозаводского государственного университета

Результаты и обсуждение

Изданная монография «История съездов ИЮФРО и Россия» [6, 7] позволила сопоставить информацию о съездах Союза и участии в их работе представителей нашей страны за более чем 120-летний период со дня его основания (табл. 2, рис. 1, 2).

Таблица 2

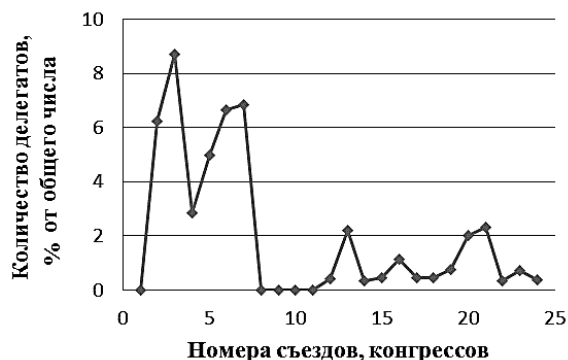
**Краткая характеристика участия отечественных представителей
в работе съездов и конгрессов ИЮФРО**

Номер съезда, конгресса	Сроки проведения	Страна проведения	Общее число делегатов	В том числе от России–СССР–РФ	
				чел.	%
I	10–16.09.1893	Австрия	15	0	0
II	19–24.09.1896	Германия	16	1	6,25
III	4–11.09.1900	Швейцария	23	2	8,70
IV	31.08–05.09.1903	Австрия	35	1	2,86
V	8–16.09.1906	Германия	40	2	5,00
VI	10–19.09.1910	Бельгия	30	2	6,67
VII	14–27.07.1929	Швеция	205	14	6,83
VIII	4–11.09.1932	Франция	84	0	0
IX	25.08–8.09.1936	Венгрия	135	0	0
X	5–11.09.1948	Швейцария	83	0	0
XI	22–26.09.1953	Италия	153	0	0
XII	7–14.07.1956	Великобритания	242	1	0,41
XIII	10–16.09.1961	Австрия	410	9	2,20
XIV	3–10.09.1967	Германия	872	3	0,34
XV	14–20.03.1971	США	681	3	0,44
XVI	20.06–2.07.1976	Норвегия	1065	12	1,13
XVII	7–12.09.1981	Япония	1300	6	0,46
XVIII	7–21.09.1986	Югославия	1900	9	0,47
XIX	5–11.08.1990	Канада	2006	15	0,75
XX	6–12.08.1995	Финляндия	2183	44	2,02
XXI	7–12.08.2000	Малайзия	1912	44	2,30
XXII	8–13.08.2005	Австралия	2100	7	0,33
XXIII	23–28.08.2010	Республика Корея	2734	20	0,73
XXIV	5–11.10.2014	США	2492	9	0,36

Рис. 1. Характеристика активности международного научного лесного сообщества (по количеству делегатов на съездах-конгрессах ИЮФРО)



Рис. 2. Характеристика активности отечественного научного лесного сообщества по относительному (в % от общего числа) количеству делегатов на съездах-конгрессах ИЮФРО



Оценка имеющейся информации показала, что по активности участия отечественных ученых и руководителей лесного сектора в работе съездов, конгрессов и деятельности Союза можно выделить несколько этапов.

Первый этап (продолжался 30...35 лет) связан в первую очередь с именами В.А. Тихонова (вице-директор Лесного департамента Министерства земледелия и государственных имуществ, соавтора Ф.К. Арнольда в подготовке фундаментального труда «Русский лес») и классика отечественного лесного хозяйства проф. Г.Ф. Морозова [6].

Сложная обстановка 1892–1893 гг. не позволила представителям России участвовать в первых встречах Союза – в стране царил страшный голод после тяжелого неурожая. Эта беда дала толчок комплексным научным исследованиям отношений леса и влаги, леса и почвы, леса и климата в рамках специально организованных экспедиций В.В. Докучаева [1] и А.А. Тилло [5]. В.А. Тихонов стал первым российским представителем, который участвовал в работе II съезда ИЮФРО в 1896 г. в Брауншвейге (Германия). В работе четырех очередных съездов ИЮФРО этого периода принимал активное участие Г.Ф. Морозов, который в 1903 г. на съезде в Вене сделал сообщение об исследованиях грунтовых вод в степи с использованием водосборников и вместе с проф. А. Шваппахом из Эберсвальде (Германия) и Г. Хуффелем из Нанси (Франция) рекомендовал включить дуб в программу исследований ИЮФРО [12].

Этот этап завершился беспрецедентно высоким уровнем участия представителей нашей страны (СССР) в работе VII съезда ИЮФРО в 1929 г. в Стокгольме (Швеция), в котором, несмотря на трудности развития молодой республики (прошло совсем немного времени после гражданской войны), было зарегистрировано 14 делегатов из СССР, или около 7 % от общего числа участников [9, 11]. Необходимо отметить, что никогда более в истории нашей страны эти цифры не были превышены (табл. 2, рис. 2).

Отечественная наука того периода шагала в ногу со временем. Например, отражением достижений российских ученых-лесоводов может служить тот факт, что проф. Э.В. Эбермайер из Мюнхена (Германия) на съезде в Вене (1903 г.) в своем докладе широко использовал работы проф. П.В. Отоцкого по

состоянию и движению грунтовых вод [12]. Следует отметить, что проф. Эбермайер был весьма авторитетным ученым того времени, являясь основателем лесных опытных и метеорологических станций (с 1866 г.) для изучения климата в лесных районах Баварии [10]. Его оценка результатов исследований проф. П.В. Отоцкого явилась весьма значимым международным признанием авторитета российских ученых.

В самом начале развития СССР на съезде ИЮФРО в 1929 г. были избраны в руководящие органы проф. Н.П. Кобранов – членом Международного комитета и членом Комиссии по лесной библиографии, А.В. Тюрин – заместителем председателя секции «Лесная экология» [11].

На *втором этапе* (после VII съезда ИЮФРО и до середины 1950-х гг.) в течение почти 30 лет, в силу ряда причин, скорее политического характера, представители нашей страны не участвовали в деятельности Союза.

Тем не менее, интерес международного сообщества к исследованиям в СССР не ослабевал, как и интерес наших ученых к деятельности коллег из-за рубежа. В трудные военные годы (в 1944 г.) В.Н. Сукачев основал Институт леса и древесины (ИЛиД), который стал первым академическим институтом, занимающимся лесными вопросами (в 1958 г. был включен в состав Сибирского отделения АН СССР). В 1947 г. ИЛиД стал первым лесным учреждением страны – членом ИЮФРО, его руководитель – проводником достижений отечественной науки на международном уровне. В 1956 г. в Великобритании (Оксфорд) состоялся XII Конгресс ИЮФРО, где, по словам проф. И.С. Мелехова, возобновилось «...активное участие ученых нашей страны в IUFRO... Особенно надо отметить большую роль в этом академика В.Н. Сукачева, как в организационном отношении, так и в смысле его непосредственного участия в постановке международных научных исследований. На этом конгрессе, участником которого был В.Н. Сукачев, заметное место заняли вопросы лесной типологии. Программа и инструкция для маршрутного изучения типов леса, составленная В.Н. Сукачевым, была размножена IUFRO и разослана в 1959 г. в лесные научно-исследовательские учреждения разных стран» [3, с.169].

Третий этап (длительность примерно 35...40 лет) связан, в первую очередь, с именами академиков И.С. Мелехова, Н.А. Моисеева и А.С. Исаева. Этот этап, как и последующий, характеризуется постоянным присутствием России (СССР) в руководящих структурах ИЮФРО. В частности, И.С. Мелехов избирался членом Международного совета (1962–1976 гг.), членом Исполнительного комитета (1968–1976 гг.), в состав Номинационного комитета (1972–1976 гг.); Н.А. Моисеев – членом Исполнительного комитета (1977–1985 гг.) и Международного совета от СССР (1977–1995); Н.П. Анучин – в состав Исполнительного комитета (1962–1967 гг.); И.К. Иевинь (1986–1990 гг.), А.П. Петров (1991–1995 гг.), В.В. Страхов (1996–2000 гг.), В.К. Тепляков (2001–2010 гг.; 1996–2000 гг.), Е.Г. Куликова (2010–2014 гг.) – членами Международного совета; в состав Международного совета – В.А. Алексеев (заместитель, 1991–1995 гг.),

А.Н. Филипчук (заместитель, 1996–2000 гг., с 2007 по наст. время), Е.А. Ваганов (2001–2005 гг.), В.С. Шалаев (2006 г. по наст. время).

В 1980 г. по инициативе Гослесхоза СССР, поддержанной Президентом ИЮФРО В. Лизе (Германия), на базе ВНИИЛМа и его Кавказского филиала состоялось первое в истории СССР заседание Комитета ИЮФРО. Второе подобное совещание прошло в России уже в 2003 г., организаторами выступили МГУЛ, ВНИИЛМ и ВИПКЛХ при поддержке Московского представительства Международного союза охраны природы (все указанные организации были в то время членами ИЮФРО).

В 1981 г. на съезде ИЮФРО в Токио (Япония) состоялось первое выступление на пленарном заседании Председателя Гослесхоза СССР, проф. Г.И. Воробьева [13], на съезде 1990 г. в Монреале (Канада) – Председателя Гослесхоза СССР, акад. А.С. Исаева, который остается пока единственным руководителем лесного ведомства СССР/России, принимавшим участие в заседании Расширенного исполкома ИЮФРО в 1990 г. в Праге (Чехословакия). А.С. Исаев был активным проводником идеи международного подхода к проблеме изучения бореальных лесов, составляющих основную часть лесного фонда страны [14]. Отметим, что после конгресса в Монреале состоялась конференция в г. Архангельске, после которой в 1991 г. была основана новая международная организация – Ассоциация исследования бореальных лесов – International Boreal Forest Research Association (IBFRA).

В связи с этим необходимо особо упомянуть имена В.Н. Сукачева, Г.И. Воробьева, А.С. Исаева, И.С. Мелехова, Н.А. Моисеева, которые обладали не только административным ресурсом, но и высоким научно-профессиональным потенциалом, что в совокупности позволяло им успешно участвовать в деятельности ИЮФРО, в том числе и в его руководящих органах, в работе соответствующих конференций, съездов и конгрессов, а также достойно и убедительно представлять российскую (советскую) лесную науку.

Современный этап (последние 15...20 лет) характеризуется определенным снижением участия отечественных представителей в работе конгрессов ИЮФРО, некоторым ухудшением позиционирования российской лесной науки среди международного научного сообщества. Конечно, это связано с кардинальными изменениями в социально-политическом устройстве страны, недостаточным уровнем поддержки лесной науки, миграцией молодых и наиболее активных россиян за рубеж. При этом необходимо отметить недостаточное представительство отраслевой науки в международном научном пространстве. Если вузовская или академическая наука (в значительной степени – фундаментальная) в той или иной мере была и присутствует на конгрессах и конференциях ИЮФРО, то прикладная составляющая (в большей степени отраслевая наука) на этом этапе практически отсутствует. На одной из встреч высокопоставленный чиновник критиковал подобную позицию, утверждал, что не следует делить науку таким образом, она – едина. Можно возразить этому. При общем единстве науки, как области человеческой деятельности, направленной на

выработку и систематизацию объективных знаний о действительности, именно прикладная сторона научно-исследовательской работы всегда, особенно на современном этапе, востребована в государстве.

Практически 100-процентная приватизация промышленных предприятий лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности свела до весьма низкого уровня «леспромскую» науку и некогда весомые, значимые и на международном фоне ЦНИИМЭ, ЦНИИМОД, ВНИИДРЕВ, ЦНИИБ, где в ближайшем обозримом времени вряд ли можно ожидать многого. Однако институты лесохозяйственного ведомства (ВНИИЛМ, ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии, СПбНИИЛХ, СевНИИЛХ, ДальНИИЛХ и др.), поддерживаемые государственным финансированием должны и очевидно могли бы достойно представлять российскую лесную науку за рубежом. При этом весьма недвусмысленна позиция руководства страны по интеграции российской науки в международное научное пространство. Например, в 2012 г. в соответствии с указом Президента [8] планировалось увеличение в 2015 г. публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science), до 2,44 %. Для «лесной» науки здесь есть существенная перспектива развития.

В этой связи уместно привести слова академиков И.С. Мелехова и Н.А. Моисеева: «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» [4].

Характеристику активности международного научного лесного сообщества можно дать по количеству делегатов на съездах ИЮФРО. При этом, учитывая реальную ситуацию и экстраполируя возможную зависимость (см. рис. 1), можно спрогнозировать количество делегатов-участников очередного XXV Мирового конгресса ИЮФРО в Бразилии примерно на уровне 2700...2900 чел. Представители России, конечно, примут участие в работе этого конгресса. Тем не менее, количественные оценки весьма неоднозначны, зависят от ряда факторов и мало прогнозируемы, так как базироваться в прогнозе на данных прошедшего времени (табл. 2, рис. 2) не очень продуктивно. Остается лишь выразить надежду на более активное участие ученых и специалистов из России, должное позиционирование российской лесной науки в работе грядущего конгресса.

Выводы

1. Участие отечественных ученых и преподавателей, студентов и аспирантов, административных работников в деятельности ИЮФРО весьма

актуально и необходимо, особенно в современный период, при решении задач интеграции российской лесной науки в международное научное пространство.

2. Уровень интеграции российской лесной науки в международное научное пространство, в частности в ИЮФРО, требует улучшения, особенно для отраслевого сектора.

3. Имеются объективные и субъективные причины резкого снижения интереса госструктур, НИИ и других учреждений к работе в международных организациях. Требуют увеличения размеры и формы государственной поддержки этого процесса.

4. Российские ученые и преподаватели, студенты и аспиранты, особенно принимающие решения административные работники, не должны пропустить 125-летний юбилей Союза и мероприятия, организуемые ИЮФРО.

5. Современный уровень участия россиян в деятельности ИЮФРО позволяет выразить надежду на определенное развитие и дальнейшую интеграцию российской лесной науки в международное научное пространство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каишанов А.Н., Турусов В.И.* Докучаевский комплекс в Каменной степи – фундаментальная, научная и практическая основа борьбы с засухой и создания устойчивого земледелия в России// Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы междунар. науч. конф., посвященной 165-летию со дня рождения В.В. Докучаева (1–4 марта 2011 г., Санкт-Петербург). СПб., 2011. С. 8–16.

2. *Мелехов И.С.* Альма матер. Воспоминания о лесотехнической академии. Часть II. Возвращение в академию и уход из нее: учеб. пособие. СПб.: Межвуз. типография, 1993. 106 с.

3. *Мелехов И.С.* Лесоведение и лесоводство // Лекции на фак. повышения квалификации преподавателей лесотехн. вузов. 2-е изд., испр. и доп. М., МГУЛ, 1972. 178 с.

4. *Мелехов И.С., Моисеев Н.А.* 90 лет ИЮФРО (IUFRO) // Лесн. журн. 1982. № 4. С. 127–131. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. *Озерова Н.А., Снытко В.А., Широкова В.А.* Экспедиция для исследования истоков главнейших рек Европейской России (1894–1902) // изв. РАН. Географическая серия. 2015. № 4. С. 27–113.

6. *Тепляков В.К., Шалаев В.С.* История съездов ИЮФРО и Россия: в 2-х т. Т. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГУЛ, 2015. 469 с.

7. *Тепляков В.К., Шалаев В.С.* История съездов ИЮФРО и Россия: в 2-х т. Т. 2. 2-е изд., испр. и доп. М.: МГУЛ, 2015. 372 с.

8. Указ Президента РФ № 599 от 7 мая 2012 г. «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки».

9. Die zweite Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Braunschweig in der Tagen vom 19, bis 24, September 1896. Braunschweig, Hof Buchdruckerei von Julius Krampe, 1897. 83 S.

10. *Fernow B.E.* A Brief History of Forestry: In Europe, the United States and other countries. Univ. Press. Toronto & Forest Quarterky. Cambridge, MA, 1911. 506 pp.

11. Verhandlungen Des Internationalen Kongresses Forstlicher Versuchsanstalten/Proceedings of the International Congress of Forestry Experimental Stations / Actes Du Congres International Des Stations De Recherches Forestieres. Stockholm 1929. Rediges Par Sven Petrini, Secretare General/Petrini S. (ed.). Stockholm, Centraltryckeriet, 1930. 862 s.

12. Vierte Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Mariabrunn 1903 : Bericht über die Verhandlungen und Exkursionen. Wien: Forstliche Bundesversuchsanstalt, 1903. 87 s.

13. XVII IUFRO World Congress. Congress Report. Japanese IUFRO Congress Committee. Ibaraki, Japan. 635 p.

14. XIX World Congress: Montreal, Canada, 5-11, August 1990 / International Union of Forestry Research Organization / XIX Congres mondial: Montreal, Canada, 5-11, aout 1990 / Union internationale des instituts de recherches forestieres. Canadian IUFRO World Congress Organizing Committee, 1990 [English, French, German, and Spanish]: vol. A, Congress Report A. 634 p.; vol. B., Congress Report B, 457 p.

Поступила 11.11.15

UDC 630*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.9

Analysis of the National Representatives' Participation in the IUFRO Conventions and Congresses

V.S. Shalaev¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

V.K. Teplyakov², Candidate of Agricultural Sciences, Professor

¹Moscow State Forest University, 1st Institutskaya str., 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

²Seoul National University, SNU, Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-921, Korea (Rep); e-mail: teplyakovv@gmail.com

The International Union of Forest Research Organizations – IUFRO is one of the oldest international organizations related to the natural resources, especially forests, their protection, reproduction and rational use. It was found in 1892 by three German-speaking countries of Central Europe (Austria, Germany and Switzerland), and currently IUFRO has become a global organization, represented by more than 15000 researchers and experts in nearly 700 member organizations from more than 110 countries. 15 organizations of our country became the IUFRO members since 1947. In 1930–1960 the Russian scientists did not participate in the IUFRO congresses. The breakthrough has happened after the congresses in 1961–1967, and since then Russia (the USSR) was presented in all IUFRO congresses and the IUFRO board. The participation of the Russian scientists, professors, and administrators in the IUFRO started in 1896, when Russia participated in the IUFRO convention for the first time. Since then, Professor G.F. Morozov and others have represented our country in this organization. The academicians V.N. Sukachev, I.S. Melekhov, N.P. Anuchin, A.S. Isaev, N.A. Moiseev should be mentioned. The participation of the Russian scientists and professors, students, postgraduate students and management staffs in the IUFRO activities and its executive boards is very important and necessary, especially in the modern period for better integration of the Russian forest science into the international scientific space. Mean-

while, the integration level of the Russian forest science in the international scientific community needs to be improved and requires an increasing the size and quality of the state support. The current level of participation of the Russian forest sector experts in the IUFRO activities gives a hope for a positive development and further integration of the Russian forest science into the international scientific space.

Keywords: history, International Union of Forest Research Organizations, Russian organizations, forest science.

REFERENCES

1. Kashtanov A.N., Turusov V.I. Dokuchaevskiy kompleks v Kamennoy stepi – fundamental'naya, nauchnaya i prakticheskaya osnova bor'by s zasukhoj i sozdaniya ustoychivogo zemledeliya v Rossii [Dokuchayevsk Complex in the Stone Steppe – a Fundamental, Scientific and Practical Basis for the Drought Control and Creating Sustainable Agriculture in Russia]. *Resursnyy potentsial pochv – osnova prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti Rossii: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 165-letiyu so dnya rozhdeniya V.V. Dokuchaeva (1–4 marta 2011 g., Sankt-Peterburg)* [“The Resource Potential of the Soils – the Basis of Food and Environmental Safety of Russia”: Proc. Int. Sci. Conf., Devoted to the 165th Anniversary of V.V. Dokuchaev (March 1–4, 2011, Saint Petersburg)]. Saint Petersburg, 2011, pp. 8–16.
2. Melekhov I.S. *Al'ma mater. Vospominaniya o lesotekhnicheskoy akademii. Chast' II. Vozvrashchenie v akademiyu i ukhod iz nee* [Alma Mater. Memories of the Forest Academy. Part II. Return to the Academy and Expulsion]. Saint Petersburg, 1993. 106 p.
3. Melekhov I.S. Lesovedenie i lesovodstvo [Silviculture]. *Lektsii na fakul'tete povysheniya kvalifikatsii prepodavateley lesotekhnicheskikh vuzov* [Lectures at the Advanced Training Faculty of Professors of Forest Engineering Universities]. Moscow, 1972. 178 p.
4. Melekhov I.S., Moiseev N.A. 90 let IYuFRO (IUFRO) [90 Years of IUFRO]. *Lesnoy zhurnal*, 1982, no. 4, pp. 127–131.
5. Ozerova N.A., Snytko V.A., Shirokova V.A. Ekspeditsiya dlya issledovaniya istokov glavneyshikh rek evropeyskoy Rossii (1894–1902) [The Expedition to Study the Origins of the Main Rivers of European Russia (1894–1902)]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2015, no. 4, pp. 27–113.
6. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *Istoriya s"ezdov IYuFRO i Rossiya: v 2-kh tomakh. T. 1* [History of the IUFRO Congresses and Russia. Vol. I]. Moscow, 2015. 469 p.
7. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *Istoriya s"ezdov IYuFRO i Rossiya: v 2-kh tomakh. T. 2* [History of the IUFRO Congresses and Russia. Vol. II]. Moscow, 2015. 372 p.
8. Ukaz Prezidenta RF № 599 ot 7 maya 2012 g. “O merakh po realizatsii gosudarstvennoy politiki v oblasti obrazovaniya i nauki” [Presidential Decree No. 599 of May 7, 2012 “On Measures to Implement the State Policy in the Sphere of Education and Science”].

9. *Die zweite Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Braunschweig in der Tagen vom 19, bis 24, September 1896.* Braunschweig, 1897. 83 p.

10. Fernow B.E. *A Brief History of Forestry: in Europe, the United States and Other Countries.* Cambridge, 1911. 506 p.

11. *Verhandlungen des internationalen Kongresses Forstlicher Versuchsanstalten. Proc. Int. Congress of Forestry Experimental Stations. Stockholm, 1929.* Ed. by Rediges Par Sven Petrini. Stockholm, 1930. 862 p.

12. *Vierte Versammlung des internationalen Verbandes forstlicher Versuchsanstalten zu Mariabrunn 1903 : Bericht über die Verhandlungen und Exkursionen.* Wien, 1903. 87 p.

13. *XVII IUFRO World Congress. Congress Report. Japanese IUFRO Congress Committee.* Ibaraki, Japan. 635 p.

14. *XIX World Congress: Montreal, Canada, 5–11, August 1990. International Union of Forestry Research Organization. Canadian IUFRO World Congress Organizing Committee, 1990 [English, French, German, and Spanish]: Vol. A, Congress Report A. 634 p.; Vol. B, Congress Report B. 457 p.*

Received on November 11, 2015

УДК 630*24(374)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.21

ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РУБОК УХОДА В СОСНЯКАХ КАЗАХСКОГО МЕЛКОСОПОЧНИКА

С.В. Залесов¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.В. Данчева², канд. с.-х. наук

А.В. Эбель², канд. с.-х. наук

Е.И. Эбель², канд. с.-х. наук

¹Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620110; e-mail: pres-nir@usfeu.ru

²Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Кирова, д. 58, г. Щучинск, Казахстан, 021704; e-mail: a.dancheva@mail.ru

На основе материалов исследований, выполненных на постоянных пробных площадях, проанализирована лесоводственная эффективность рубок ухода в сосняках Казахского мелкосопочника за 58-летний период. Экспериментально доказано, что в сухих сосняках Казахского мелкосопочника (тип леса сосняк мертвопокровно-лишайниковый) рубки ухода, проведенные в 35-летнем чистом сосновом насаждении, даже спустя 58 лет не позволяют обеспечить запас, аналогичный таковому в контрольных древостоях, где рубки ухода не проводились. При этом рубки ухода способствуют минимизации отпада и увеличению среднего диаметра древостоя. Последнее повышает товарную ценность выращиваемых древостоев, устойчивость против неблагоприятных природных и антропогенных факторов (рекреация, лесные пожары и т.п.), а также увеличивает рекреационную привлекательность. Сосновые насаждения указанного типа леса характеризуются высокой отзывчивостью на уход. Даже при снижении относительной полноты в 35-летнем возрасте ниже 0,5 они сохраняют устойчивость и к 93 годам (через 58 лет после рубок ухода) восстанавливают относительную полноту до величины нормального древостоя. Учитывая роль рубок ухода в повышении устойчивости сосновых насаждений и тот факт, что все леса Казахского мелкосопочника относятся к лесам защитного назначения, можно рекомендовать проведение рубок ухода умеренной интенсивности по запасу по низовому методу в загущенных 30–40-летних сосняках мертвопокровно-лишайникового типа леса.

Ключевые слова: рубки ухода, сосняки, Казахский мелкосопочник, интенсивность изреживания, метод рубок ухода, густота древостоя, отпад, прирост, постоянная пробная площадь, лесоводственная эффективность.

Введение

Рубки ухода являются наиболее эффективным и распространенным мероприятием в системе выращивания высокопродуктивных устойчивых насаждений [1, 3–10, 12]. Однако, несмотря на длительный период изучения лесоводственной и экономической эффективности рубок ухода, многие вопросы до настоящего времени остаются нерешенными. Последнее объясняется, прежде всего, небольшим сроком наблюдений за насаждениями, пройденными рубками ухода.

Кроме того, эффективность рубок ухода во многом зависит от биологии древесной породы, за которой ведется уход, а также от специфики региональных условий произрастания.

Цель и методика исследований

Целью наших исследований является анализ лесоводственной эффективности рубок ухода в чистых сосняках Казахского мелкосопочника и разработка на этой основе рекомендаций по их совершенствованию.

В основу исследований положен метод постоянных пробных площадей (ППП). Каждая ППП состояла из контрольной и рабочих секций. На рабочих секциях проведены рубки ухода различной интенсивности с низовым или комбинированным методами назначения деревьев в рубку. На каждой контрольной и рабочей секциях выполнен обмер диаметров деревьев на высоте 1,3 м с точностью до 0,1 см, а также замерены высоты у 15 модельных деревьев. Модельные деревья отбирали пропорционально их распределению по ступеням толщины. Основные таксационные показатели древостоев на секциях ППП определены в соответствии с общепринятыми в лесной таксации и лесоводстве методиками [2] до проведения рубок ухода, сразу и спустя 58 лет после их проведения.

На всех секциях ППП до рубок ухода и после них никаких других лесоводственных мероприятий не было.

Природные условия и характеристика объектов исследования

Исследования проводили в сосняках Казахского мелкосопочника. Последние представляют собой своеобразный природный комплекс из остепненных нагорных островных сосновых насаждений.

Характерной особенностью природных условий района исследований является засушливость и резкая континентальность климата с суровыми малоснежными и продолжительными зимами, сильными ветрами и резкими сменами температур в пределах суток. Значительное влияние на климат оказывает Казахский мелкосопочник. Под его влиянием воздушные массы, проходящие с юго-запада и запада, увеличивают облачность и, оставляя остатки своей влаги, способствуют некоторому снижению летних и повышению зимних температур воздуха.

К неблагоприятным факторам климата территории района исследований относятся частые засухи, в связи с несоответствием между количеством тепла и влаги – суховеи, пыльные бури, поздние весенние и ранние осенние заморозки, сильные морозы зимой.

Годовая амплитуда температур воздуха в среднем составляет 80...90 °С. В июле температура достигает 41 °С, а в январе понижается до –51 °С. За год выпадает 379 мм осадков, максимум которых приходится на расчлененные возвышенные районы. В летний период испаряемость почти в 2 раза превышает количество выпадающих осадков. Вероятность неблагоприятных соотношений тепла и влаги в самый критический для развития растений период

(май-июнь) в среднем составляет около 50 % [11]. Засушливые периоды опасны возникновением суховеев с частыми пыльными бурями, которые приводят к сильному иссушению почвы.

Сложность рельефа и геологического строения обуславливают значительную пестроту почвенно-растительного покрова. Под сосновыми лесами распространены бурые лесные почвы на мелкоземистых щебнисто-обломочных и дресвянистых корах выветривания грунтов.

Для изучения лесоводственной эффективности рубок ухода были использованы ППП, заложенные в 1969 г. кандидатом сельскохозяйственных наук А.А. Вайсманом в сосняке мертвопокровно-лишайникового типа леса. Рельеф участка слабоволнистый с выходами гранита на дневную поверхность, местоположение высокое, очень сухое. За пределами участка встречаются отдельные деревья диаметром до 40 см. Последнее позволяет предположить, что насаждение сформировалось из семян этих деревьев после вырубki погибшего в результате лесного пожара древостоя.

На момент начала эксперимента древостой характеризовался следующими средними таксационными показателями: состав – 10С; густота – 38,7 тыс. шт./га; возраст – 35 лет; высота – 5 м; диаметр на высоте 1,3 м – 3 см; класс бонитета – V; полнота – 1,1; запас – 65 м³/га.

Исходя из однообразия почвенно-грунтовых условий и густоты древостоя, участок был разделен на 6 ППП, последние, в свою очередь, – на 28 секций.

Площадь секций варьировала от 0,15 до 0,25 га, что позволяло получить репрезентативные данные таксационных показателей спустя 58 лет после рубки. Последнее объясняется повышенной густотой Казахского мелкосопочника. Даже при высокой интенсивности рубки густота была высокой.

Постоянные пробные площади (1–6) включали следующие секции:

ППП-1: секции 13-5; Б-4;

ППП-2: секции 5-1; 5-2;

ППП-3: секции Б-3; Б-2; 10-1; Б-5, К-4; 5-3; Б-1;

ППП-4: секции 12-4; 7-2; 5-5; 15-2; 15-3; 5-4; К-3; 15-1; 7-1; 7-4;

ППП-5: секции 12-5; 7-3; К-2; К-1;

ППП-6: секции 10-4; К-5; 7-5.

На рабочих секциях ППП проведены опытные рубки ухода за лесом различной интенсивности с оставлением на ряде секций определенного количества деревьев.

На секциях Б-2, Б-3, 5-2, 15-3, 15-1 проведены рубки ухода слабой интенсивности (20 % по запасу), на секциях Б-1, Б-4, Б-5, 5-1, 10-1, 5-3, 12-4, 7-2, 7-4, 12-5, 7-3 – рубки ухода умеренной интенсивности (21...35 %), на секциях 7-1, 10-4 – рубки ухода высокой (сильной) интенсивности (36...45 %), на секциях 13-5, 5-5, 5-4, 7-5 – очень сильной интенсивности (более 45 %).

Особо следует отметить, что на пяти секциях (Б-1, Б-2, Б-3, Б-4, Б-5) отбор деревьев в рубку производили по текущему приросту по высоте с учетом равномерности размещения деревьев по площади. Такой метод рубок ухода близок к комбинированному. Кроме того, на всех рабочих секциях были

вырублены мелкие, усыхающие и отставшие в росте деревья и обиты сухие сучья у деревьев, оставленных на доращивание.

Для удобства анализа секции ППП по интенсивности изреживания и методу рубок ухода представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение секций ППП по интенсивности изреживания и методу рубок ухода

Интенсивность рубок ухода	Метод рубок ухода	Индекс секции
Слабая	Комбинированный	Б-3, Б-2
Умеренная	«	Б-4, Б-5, Б-1
Слабая	Низовой	5-2, 15-3, 15-1
Умеренная	«	5-1, 10-1, 5-3, 12-4, 7-2, 15-2, 7-4, 12-5, 7-3
Сильная	«	7-1, 10-4
Очень сильная	«	13-5, 5-5, 5-4, 7-5
Контроль (без ухода)		К-1, К-2, К-3, К-4, К-5

Материалы и результаты исследований

Результаты исследований показали, что рубки ухода оказывают влияние, прежде всего, на густоту выращиваемых древостоев (табл. 2).

Таблица 2

Густота древостоев на секциях, пройденных рубками ухода различной интенсивности*

Интенсивность рубок ухода	Метод рубок ухода	Густота древостоя, шт./га		
		до рубки	после рубки	через 58 лет после рубки
Слабая	Комбинированный	<u>21150</u>	<u>8000</u>	<u>2938</u>
		20700...21600	7300...8700	2738...3138
Умеренная	«	<u>31100</u>	<u>10633</u>	<u>2821</u>
		27600...34900	10200...11300	2625...3125
Слабая	Низовой	<u>29633</u>	<u>11800</u>	<u>4847</u>
		16700...37700	5100...15200	1720...6600
Умеренная	«	<u>35500</u>	<u>8978</u>	<u>3551</u>
		25200...43300	5100...15300	1860...4940
Сильная	«	<u>47805</u>	<u>8300</u>	<u>3030</u>
		41100...54510	6500...10100	2300...3760
Очень сильная	«	<u>53175</u>	<u>7500</u>	<u>3035</u>
		33800...77800	4700...13000	2080...5700
Контроль (без ухода)		<u>39850</u>	<u>39850</u>	<u>6565</u>
		28000...47900	28000...47900	5500...7000

*В числителе – среднее значение, в знаменателе – минимальное и максимальное значения по секциям.

Уменьшение густоты древостоев рубками ухода за счет удаления потенциального отпада снижает величину последнего пропорционально интенсивности изреживания (табл. 3).

Таблица 3

Снижение густоты древостоев на секциях, пройденных рубками ухода разной интенсивности

Интенсивность рубок ухода	Метод рубок ухода	Снижение густоты древостоя, шт./га/%		
		после рубки	за 58 лет после рубки	с начала эксперимента
Слабая	Комбинированный	<u>13150</u>	<u>5062</u>	<u>18212</u>
		62,2	63,3	86,1
Умеренная	«	<u>20467</u>	<u>7812</u>	<u>28279</u>
		65,8	73,5	90,9
Слабая	Низовой	<u>17833</u>	<u>6953</u>	<u>24786</u>
		60,2	58,9	83,6
Умеренная	«	<u>26522</u>	<u>5627</u>	<u>32149</u>
		74,7	62,7	90,6
Сильная	«	<u>39505</u>	<u>5270</u>	<u>44775</u>
		82,6	63,5	93,7
Очень сильная	«	<u>45675</u>	<u>4465</u>	<u>50140</u>
		85,9	59,5	94,3
Контроль (без ухода)		–	<u>33285</u>	<u>33285</u>
			83,5	83,5

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что интенсивность рубок ухода по запасу существенно отличается от таковой по густоте. Если слабой интенсивности рубок ухода по запасу соответствовало удаление до 20 % последнего, при умеренной – 21...35 %, сильной – 36...45 %, очень сильной – более 45 %, то интенсивность рубок ухода по густоте на всех рабочих секциях была очень сильной и варьировала от 55,9 до 85,9 %. Таким образом, даже при комбинированном методе рубок ухода в рубку назначались преимущественно наиболее тонкие деревья из числа потенциального отпада. Последнее позволяет утверждать, что проведение рубок ухода, при условии утилизации вырубаемых деревьев, существенно снизит потенциальную пожарную опасность, а также повысит рекреационную устойчивость и привлекательность сосновых насаждений Казахского мелкосопочника.

Рубки ухода, изменяя площадь роста деревьев, оставляемых на дорощивание, оказывают существенное влияние на основные таксационные показатели сосновых древостоев (табл. 4), материалы которой наглядно свидетельствуют, что спустя 58 лет после проведения рубок ухода в 35-летнем сосновом насаждении сосняка мертвопокровно-лишайникового густота древостоев на рабочих секциях выравнивается, однако остается значительно ниже, чем в контрольных древостоях. Другими словами, рубки ухода, снижая конкуренцию между оставляемыми на дорощивание деревьями и естественный отпад, способствуют увеличению крупности деревьев. В частности, через 58 лет после проведения рубок ухода слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности по низовому методу объем среднего дерева составлял 0,079; 0,095; 0,107 и 1,122 м³, или 136,2; 163,8; 184,5 и 210,3 % от аналогичного показателя в контрольных древостоях.

Таблица 4

Средние таксационные показатели древостоев на секциях опытного участка № 3, пройденных рубками ухода различной интенсивности

Период	Значение показателя для метода и интенсивности рубок ухода						
	Контроль	Комбинированный		Низовой			
		Слабая	Умеренная	Слабая	Умеренная	Сильная	Очень сильная
<i>Густота, шт./га/%</i>							
До рубки	<u>39850</u>	<u>21150</u>	<u>31100</u>	<u>29633</u>	<u>35500</u>	<u>47805</u>	<u>53175</u>
	100	53,1	78,0	74,4	89,1	120,0	133,4
После рубки	<u>39850</u>	<u>8000</u>	<u>10633</u>	<u>11800</u>	<u>8978</u>	<u>8300</u>	<u>7500</u>
	100	20,0	26,7	29,6	22,5	20,8	18,8
Через 58 лет после рубки	<u>6565</u>	<u>2938</u>	<u>2821</u>	<u>4847</u>	<u>3351</u>	<u>3030</u>	<u>2147</u>
	100	44,8	43,0	73,8	51,0	46,2	32,7
<i>Средний диаметр, см/%</i>							
До рубки	<u>2.5</u>	<u>3.2</u>	<u>2.6</u>	<u>3.1</u>	<u>4.7</u>	<u>2.3</u>	<u>2.3</u>
	100	128	104	124	188	92	92
После рубки	<u>2.5</u>	<u>4.8</u>	<u>3.8</u>	<u>4.7</u>	<u>4.6</u>	<u>4.2</u>	<u>4.3</u>
	100	192	152	188	184	168	172
Через 58 лет после рубки	<u>9.6</u>	<u>13.0</u>	<u>12.9</u>	<u>14.4</u>	<u>13.0</u>	<u>12.9</u>	<u>12.7</u>
	100	135	134	150	135	134	132
<i>Средняя высота, м/%</i>							
До рубки	<u>3.7</u>	<u>4.0</u>	<u>3.5</u>	<u>4.2</u>	<u>3.8</u>	<u>3.3</u>	<u>3.3</u>
	100	108	95	114	103	89	89
После рубки	<u>3.7</u>	<u>5.1</u>	<u>4.3</u>	<u>5.3</u>	<u>4.9</u>	<u>4.7</u>	<u>4.6</u>
	100	138	116	143	132	127	124
Через 58 лет после рубки	<u>13.3</u>	<u>13.9</u>	<u>13.7</u>	<u>13.1</u>	<u>13.3</u>	<u>14.7</u>	<u>13.1</u>
	100	105	103	98,5	100	110	98,5
<i>Площадь сечения среднего дерева на высоте 1,3 м, см²/%</i>							
До рубки	<u>0.0005</u>	<u>0.0008</u>	<u>0.0005</u>	<u>0.0008</u>	<u>0.0005</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>
	100	160	100	160	100	80	80
После рубки	<u>0.0005</u>	<u>0.0007</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0002</u>
	100	140	80	120	80	60	40
Через 58 лет после рубки	<u>0.0005</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>	<u>0.013</u>
	100	186	186	186	186	186	186
<i>Абсолютная полнота, м²/га/%</i>							
До рубки	<u>20.54</u>	<u>16.8</u>	<u>16.4</u>	<u>18.5</u>	<u>18.4</u>	<u>18.3</u>	<u>19.7</u>
	100	81,8	79,8	90,1	89,6	89,1	95,9
После рубки	<u>20.54</u>	<u>14.3</u>	<u>12.2</u>	<u>16.3</u>	<u>13.4</u>	<u>11.1</u>	<u>9.6</u>
	100	69,6	59,4	79,4	65,2	54,0	46,7
Через 58 лет после рубки	<u>49.42</u>	<u>38.47</u>	<u>36.05</u>	<u>51.45</u>	<u>41.34</u>	<u>37.82</u>	<u>34.57</u>
	100	77,8	72,9	104,1	83,7	76,5	70,0

Окончание табл. 4

Период	Значение показателя для метода и интенсивности рубок ухода						
	Контроль	Комбинированный		Низовой			
		Слабая	Умеренная	Слабая	Умеренная	Сильная	Очень сильная
<i>Относительная полнота, ед./%</i>							
До рубки	<u>1,0</u>	<u>0,84</u>	<u>0,81</u>	<u>0,91</u>	<u>0,91</u>	<u>0,87</u>	<u>1,0</u>
	100	84	81	91	91	87	100
После рубки	<u>1,0</u>	<u>0,73</u>	<u>0,69</u>	<u>0,83</u>	<u>0,68</u>	<u>0,57</u>	<u>0,49</u>
	100	73	69	83	68	57	49
Через 58 лет после рубки	<u>1,48</u>	<u>1,12</u>	<u>1,06</u>	<u>1,56</u>	<u>1,24</u>	<u>1,09</u>	<u>1,00</u>
	100	75,7	71,6	105,4	83,8	73,6	67,6
<i>Запас, м³/га/%</i>							
До рубки	<u>75,3</u>	<u>63,7</u>	<u>54,8</u>	<u>71,0</u>	<u>70,0</u>	<u>67,3</u>	<u>65,7</u>
	100	84,6	72,8	94,3	93,0	89,4	87,3
После рубки	<u>75,3</u>	<u>54,6</u>	<u>41,3</u>	<u>62,9</u>	<u>50,6</u>	<u>40,8</u>	<u>34,0</u>
	100	72,5	54,8	83,5	67,2	54,2	45,2

Все опытные секции за 58-летний период после рубки восстановили полноту до показателя нормального древостоя. Однако средний запас стволовой древесины на всех опытных секциях оказался ниже такового в контрольных древостоях.

Выводы

1. Условия произрастания сосновых древостоев Казахского мелкосопочника являются жесткими. Последнее объясняется тем, что в летний период испаряемость почти в 2 раза превышает количество выпадающих осадков, вероятность неблагоприятного соотношения тепла и влаги в мае-июле составляет около 50 %. Засушливые периоды опасны возникновением суховеев с частыми пыльными бурями, которые приводят к сильному иссушению почвы.

2. Рубки ухода в сосняках Казахского мелкосопочника способствуют ускорению процессов естественного изреживания и создают условия для улучшения роста деревьев, оставленных на доразращивание.

3. Рубки ухода приводят к увеличению среднего диаметра древостоя за счет удаления отставших в росте деревьев. Спустя 58 лет после рубки максимальными средними диаметрами характеризуются древостои, пройденные рубками ухода умеренной интенсивности по низовому методу.

4. Максимальное увеличение средней высоты спустя 58 лет после начала эксперимента зафиксировано на секциях, пройденных рубками сильной интенсивности низовым методом и умеренной интенсивности комбинированным методом. На всех остальных секциях увеличение средней высоты за 58-летний период было ниже такового на контроле. Последнее свидетельствует, что проведение рубок ухода в молодняках, при отсутствии опасности смены

пород, не всегда оправдано, поскольку может привести к снижению прироста по высоте.

5. При низовом методе рубок ухода относительная полнота древостоя снижается до 0,83; 0,68; 0,57 и 0,49 соответственно при слабой, умеренной, сильной и очень сильной интенсивности изреживания. Однако даже снижение относительной полноты ниже 0,5 не приводит к потере древостоями устойчивости, а через 58 лет на всех опытных секциях относительная полнота превышает единицу.

6. Максимальным приростом древесины характеризуются древостой контрольных секций, они же характеризуются и максимальным запасом стволовой древесины. Кроме того, для контрольных секций характерен минимальный объем среднего дерева, а следовательно, и минимальная ценность выращиваемой древесины.

7. Рубки ухода в сосняках Казахского мелкосопочника приводят к увеличению размера среднего дерева, снижению густоты древостоев и минимизации отпада. Последнее обеспечивает повышение устойчивости сосновых насаждений против лесных пожаров, ветровала, рекреационных нагрузок, а также способствует рекреационной привлекательности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залесов С.В., Данчева А.В., Муқанов Б.М., Эбель А.В., Эбель Е.И. Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника // Аграр. вестн. Урала. 2013. № 6 (112). С. 64–68.
2. Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г., Швалева Н.П. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. 76 с.
3. Залесов С.В., Зубов С.А., Лопатин К.И., Луганский Н.А. Лесоводственно-экономическое обоснование программ рубок ухода в сосняке ягодниковом на Среднем Урале // Леса Урала и хозяйство в них. Вып. 16. Екатеринбург, 1993. С. 57–73.
4. Залесов С.В., Луганский Н.А. Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 331 с.
5. Изюмский П.П. Рубки промежуточного пользования в равнинных лесах. М.: Лесн. пром-сть, 1969. 152 с.
6. Изюмский П.П. Влияние рубок ухода на рост насаждений // Лесн. хоз-во. 1970. № 2. С. 23–26.
7. Луганский Н.А., Абрамова Л.П., Залесов С.В., Павлов А.Н. Рубки ухода в кедровых лесах с применением селекционного метода // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 7–12. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Сеннов С.Н. Уход за лесом: Экологические основы. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 128 с.
9. Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесом в современных условиях. Л.: ЛТА, 1987. 52 с.
10. Сеннов С.Н. О верховом методе рубок ухода за лесом // Лесн. журн. 1989. № 4. С. 5–6. (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Фельдман Я.Н. Климат Северного Казахстана. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 42 с.

12. Чибисов Г.А. Биологическая продуктивность сосняков, формируемых рубками ухода // Лесн. журн. 1997. № 5. С. 7–16. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 22.01.15

UDC 630*24(374)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.21

Silvicultural Effectiveness of Improvement Cutting in the Pine Forests of Kazakh Upland

S.V. Zalesov¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

A.V. Dancheva², Candidate of Agricultural Sciences

A.V. Ebel^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences

E.D. Ebel^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences

¹Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620110, Russian Federation; e-mail: prec-nir@usfeu.ru

²Kazakh Scientific Research Institute of Forestry, Kirov str., 58, Shchuchinsk, 021704, Kazakhstan; e-mail: a.dancheva@mail.ru

Based on the materials of the research carried out in the permanent study areas we analyzed the silvicultural effectiveness of the improvement cutting in the pine forests of Kazakh upland for 58-year period. The improvement cutting in the dry pine forests of Kazakh upland (pine forests of a dead-lichen type) carried out in the 35-year-old pure pine stand even 58 years after can not provide a stock volume similar to that in the control stands where thinning has not been carried out. At the same time the improvement cutting minimize the attrition and increase a mean diameter of a stand, which improves the commercial value of cultivated stands, resistance to adverse natural and anthropogenic factors (recreation, forest fires, etc.), and increases the recreational appeal. Pine plantations of this forest type are characterized by high responsiveness to thinning. Even with a decrease in the relative density in 35-years of age less than 0.5, they maintain stability and by age of 93 (in 58 years after thinning) reproduce the relative density of a normal stand. As thinning improves the sustainability of pine plantations, and all the forests of Kazakh upland belong to the protective purpose forests, we can recommend conducting moderate thinning on stock volume by low thinning in the close 30–40-year-old pine forests of a dead-lichen type.

Keywords: improvement cutting, pine forest, Kazakh upland, thinning intensity, thinning method, stand density, attrition, growth, permanent study area, silvicultural effectiveness.

REFERENCES

1. Zalesov S.V., Dancheva A.V., Mukanov B.M., Ebel' A.V., Ebel' E.I. Rol' rubok ukhoda v povyshenii pozharoustoychivosti sosnyakov Kazakhskogo melkosopochnika [The Role of Improvement Cutting in the Fire Resistance of Pine Forests in Kazakh Upland]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2013, no. 6(112), pp. 64–68.

2. Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G., Shvaleva N.P. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of Phytomonitoring]. Yekaterinburg, 2007. 76 p.

3. Zalesov S.V., Zubov S.A., Lopatin K.I., Luganskiy N.A. Lesovodstvenno-ekonomicheskoe obosnovanie programm rubok ukhoda v sosnyake yagodnikovom na Srednem Urale [Silvicultural and Economic Justification of the Thinning Programs in a Berrying Pine Forest in the Middle Urals]. *Lesy Urala i khozyaystvo v nikh*, 1993, no. 16, pp. 57–73.
4. Zalesov S.V., Luganskiy N.A. *Povyshenie produktivnosti sosnovykh lesov Urala* [Increasing the Productivity of Pine Forests of the Urals]. Yekaterinburg, 2002. 331 p.
5. Izyumskiy P.P. *Rubki promezhutochnogo pol'zovaniya v ravninnykh lesakh* [Intermediate Use Felling in Plain Forests]. Moscow, 1969. 152 p.
6. Izyumskiy P.P. Vliyanie rubok ukhoda na rost nasazhdeniy [The Influence of Thinning on the Plants Growth]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1970, no. 2, pp. 23–26.
7. Luganskiy N.A., Abramova L.P., Zalesov S.V., Pavlov A.N. Rubki ukhoda v kedrovyykh lesakh s primeneniem selektsionnogo metoda [Thinning in Pine Forests by the Selection Method]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 7–12.
8. Senov S.N. *Ukhod za lesom: Ekologicheskie osnovy* [Forest Management: Ecological Basis]. Moscow, 1984. 128 p.
9. Senov S.N. *Rubki ukhoda za lesom v sovremennykh usloviyakh* [Improvement Cutting under Current Conditions]. Leningrad, 1987. 52 p.
10. Senov S.N. O verkhovom metode rubok ukhoda za lesom [On the Crown Thinning]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 4, pp. 5–6.
11. Fel'dman Ya.N. *Klimat Severnogo Kazakhstana* [The Climate of Northern Kazakhstan]. Moscow; Leningrad, 1960. 42 p.
12. Chibisov G.A. Biologicheskaya produktivnost' sosnyakov, formiruemykh rubkami ukhoda [Biological Productivity of Pine Forests Formed by Thinning]. *Lesnoy zhurnal*, 1997, no. 5, pp. 7–16.

Received on January 22, 2015

УДК 630*182.41:630*182.47/.48:630*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.31

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДРЕВОСТОЯ И НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ *POPULUS BALSAMIFERA L.* И *POPULUS NIGRA L.*

Н.В. Ковылин, *д-р с.-х. наук, проф.*

О.П. Ковылина, *канд. биол. наук, доц.*

Н.В. Сухенко, *канд. с.-х. наук, доц.*

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира, д. 82,
г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: kovylin.nik@yandex.ru

Проанализированы взаимоотношения древостоя и живого напочвенного покрова в искусственных фитоценозах *Populus balsamifera L.* и *Populus nigra L.* в степи. Задачи работы заключались в определении линейных показателей роста тополевых насаждений, их сохранности в возрасте 42 лет, характеристике живого напочвенного покрова, выделении доминантов и содоминантов, экологических групп, дифференциации видов живого напочвенного покрова на группы по строению подземных органов, определении доли злаков в структуре запасов наземной фитомассы живого напочвенного покрова в тополевых насаждениях. Травянистая растительность потребляет огромное количество почвенной влаги, сильно иссушая почву, в связи с чем обладает высокими конкурирующими способностями. Отрицательное воздействие травянистого покрова проявляется с особой силой в сухих и очень сухих типах лесорастительных условий, где борьба за влагу является наиболее напряженной. Здесь изреженные и низкобонитетные насаждения не в состоянии противостоять вторжению светолюбивых, хорошо обсеменяющихся и вегетативно подвижных сорных, степных и луговых трав, которые, в конечном итоге становясь эдификаторами и субэдификаторами сообщества, обуславливают отмирание насаждений. Исследования показали, что создание искусственных насаждений приводит к изменению видового состава напочвенного покрова по сравнению со степным фитоценозом, происходит насыщение видового состава адвентивными видами. В результате распашки степных земель на первом этапе обработка почвы приводит к унификации напочвенного покрова, внедрению рудеральных видов и уменьшению в составе степных видов. В дальнейшем, по мере роста искусственных насаждений, под пологом древесного яруса формируются специфический видовой состав напочвенного покрова, который отличается от видового состава степного фитоценоза. Несмотря на схожесть в росте древесного яруса наблюдается изменение структуры напочвенного покрова под пологом тополя бальзамического и тополя черного. Наибольшее число видов отмечено в насаждениях тополя бальзамического. Запасы надземной фитомассы, доля рудеральных злаков, количество корневищных видов выше в насаждениях тополя черного.

Ключевые слова: искусственные фитоценозы, тополь бальзамический (*Populus balsamifera L.*), тополь черный (*Populus nigra L.*), живой напочвенный покров, коэффициенты видового сходства Жаккара и дифференциальности.

Введение

Для искусственных лесных фитоценозов, созданных в степной зоне, характерно наличие сложных взаимоотношений между древесным ярусом и живым напочвенным покровом. Многие неудачи в области выращивания искусственных лесных насаждений в степи происходят из-за недоучета их роли на разных этапах роста и формирования насаждений. В аридной зоне искусственные сообщества древесных пород постоянно развиваются под угрозой вторжения травянистых растений, выступающих мощными конкурентами древостоя в использовании влаги. Особенно часты случаи подавленного роста и гибели лесных насаждений вследствие конкуренции древесного и травянистого ярусов. Сложность таких взаимоотношений обусловлена глубиной и радиусом распространения корневой системы доминирующих в ассоциациях травянистых видов, мощностью развития ими надземной части, долей злаков в структуре надземной фитомассы, густотой напочвенного покрова, интенсивностью транспирации и продолжительностью вегетационного периода. Взаимоотношения на разных этапах выращивания искусственных насаждений различны и зависят на первом этапе от обработки почвы, качества посадочного материала, ухода за создаваемыми насаждениями, густоты посадки. В дальнейшем, по мере роста насаждений, происходят изменения в видовом составе напочвенного покрова, который является индикатором лесорастительных условий и показателем состояния насаждений. Взрослые искусственные насаждения ведут себя стабильно при кратковременном стрессе, вызванном определенным фактором (например, засушливый год). Более или менее непрерывная смена видов во времени – характерная черта большинства сукцессионных серий. Смена видового состава растительности была названа Эглером «флористической эстафетой» [5, 14].

Ширинская степь по данным Н.Г. Чочиа и др. [4] вместе с Июсской и Джиримской степями занимает большую часть Чулымо-Енисейской впадины – самой северной из трех впадин, входящих в состав Минусинской котловины. Ее часто называют Северо-Минусинской впадиной [13]. Она ограничена с запада отрогами Кузнецкого Алатау, часть которых, образуя Батеневский кряж, огибает ее с юга, отделяя от Сыдо-Ербинской впадины. С востока горное обрамление впадины составляют отроги Восточного Саяна. С севера Солгонский хребет (отрог Курбатовского белогорья) неполностью отделяет ее от соседней – Назаровской впадины [9].

Климат резко континентальный: среднегодовая температура – 0,4 °С; амплитуда абсолютных температур – 85 °С (при максимуме – 36 °С, минимуме – 49 °С). Годовая сумма осадков 311 мм, до 70 % их приходится на лето. При средней мощности снежного покрова 15 см происходит глубокое (до 2,5...3 м и более) промерзание почвы. Почвенный покров сибирских степей представлен почвами черноземного типа (черноземы обыкновенные и южные) и маломощными щебнистыми почвами; менее распространены солонцовые, солончаковые и луговые почвы. Основными чертами этих почв являются бесструктурность,

легкий гранулометрический состав и неблагоприятный водный режим, из-за чего они легко подвергаются ветровой и водной эрозии [10]. Растительность представлена абсолютным господством травянистых группировок с весьма незначительным участием лесных насаждений. В степном поясе выделяют настоящие мелкодерновинные, крупнодерновинные и каменистые степи; долинне незасоленные и солончаковые луга; низменные болота; агрофитоценозы. Кроме луговой растительности, в долинах рек значительные площади занимают заросли кустарников (ивняки), долинне тополевые и ивоберезовые леса, низинные осоковые и тростниковые болота. По северным склонам сопок и невысоких гор размещаются березовые и лиственничные перелески, заросли степных кустарников [3, 9].

В жестких климатических условиях Ширинской степи в качестве главных видов высаживали сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.), тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь бальзамический (*P. balsamifera* L.) и гибридный (*P. nigra*×*P. laurifolia*), иву остролистную (*Salix acutifolia* Willd.), березу повислую (*Betula pendula* Roth.) и лиственницу сибирскую (*Larix sibirica* Ledeb.). При создании искусственных фитоценозов использовали засухо- и морозоустойчивые деревья и кустарники [2–4, 9].

Родиной тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) является Северная Америка. Очень широко используемый в культуре вид. Растение быстрорастущее, образует хорошо развитую корневую систему. Тополь черный (*Populus nigra* L.) распространен по долинам рек, в лесной и лесостепной зонах. Засухоустойчивое и морозостойкое растение. Мощная корневая система обеспечивает хороший рост всей массы дерева и вместе с тем придает ему высокую устойчивость к сильным порывам ветра [1]. Оба вида широко используются в озеленении населенных пунктов, лесном хозяйстве, защитном лесоразведении, рекультивации нарушенных ландшафтов. В условиях степи хорошей сохранностью обладают искусственные тополевые насаждения, созданные на почвах с ограниченной доступностью залегания грунтовых вод, где они находятся в удовлетворительном состоянии.

Программа и методика исследований

Материалами исследований послужили искусственные насаждения тополей бальзамического и черного, созданные в условиях Ширинской степи. Почва под опытными участками – развитая черноземовидная, супесчаная маломощная с мелкой погребенной лугово-солончаковой почвой. Корневым системам доступна капиллярная влага слабоминерализованных грунтовых вод, которые расположены на глубине 5...6 м. Профиль почвы имеет менее щелочную реакцию среды, большую гумусность. По сравнению с другими участками верхняя часть профиля богаче иловатыми и пылеватыми частицами, а отсюда и емкость поглощения выше на 5...7 мг-экв. Здесь более благоприятен и режим солей [9].

Для исследования живого напочвенного покрова закладывали пробные площади согласно методике [6, 8]. Названия семейств и видов древесных

и травянистых растений приведены в соответствии с [12]. Коэффициенты общности и дифференциальности рассчитывали с учетом рекомендаций А.М. Туликова [11].

Целью исследования являлась оценка состояния древостоя, изучение биологического разнообразия растительного покрова, сравнение напочвенного покрова в насаждениях тополей бальзамического и черного. Исследуемые участки расположены на 54°45' с.ш. и 89°54' в.д.

Результаты исследований

В возрасте 42 лет средняя сохранность тополей бальзамического и черного составила 29,5...25,5 %. Схема посадки тополя бальзамического – 3 × 1 м, число деревьев – 3333 шт./га, тополя черного – 3 × 0,75 м, число деревьев – 4444 шт./га. Тополь бальзамический достиг средних высоты – 13,0 м и диаметра – 18,7 см, тополь черный – соответственно 12,1 м и 17,0 см. Общая площадь проекции крон в расчете на 1 га, у сохранившихся деревьев в фитоценозе тополя бальзамического, составляет 6439,3 м². Видовое богатство живого напочвенного покрова насаждений формируется под действием внешних и внутренних факторов, наиболее важными из которых являются степень развития кроны деревьев, полнота древостоя, степень сомкнутости полога в насаждениях. Показатели кроны дерева в насаждениях достоверно различаются только по диаметру ствола, однако все представленные показатели выше у тополя бальзамического (табл. 1): средняя высота больше на 5,3 %, средний диаметр ствола – на 6,2 %, средний диаметр кроны – на 10,4 %, средняя площадь кроны – на 27,0 %.

Таблица 1

Сравнение основных показателей тополевых насаждений

Показатель	Тополь бальзамический			Тополь черный			t_{Φ} (при $t_{st} = 1,98$)
	X_{min}	X_{max}	\bar{X}	X_{min}	X_{max}	\bar{X}	
Высота H , м	2,8	18,0	13,0	3,1	18,5	12,4	1,38
Диаметр на высоте 1,3 м d , см	6,0	36,0	18,7	8,5	32,3	17,6	2,08
Диаметр кроны D , м	2,5	4,3	3,0	1,1	6,1	2,7	1,24
Площадь проекции кроны S , м ²	4,5	16,9	8,2	0,9	27,1	6,4	0,89

Отношение высоты дерева к диаметру ствола выше в средних рядах насаждения и ниже в крайних рядах (табл. 2). Отношение диаметра кроны к высоте дерева колеблется по рядам посадок, но в среднем показатели у тополей бальзамического и черного близки.

Комплексный оценочный показатель $d^2 \cdot H$ у тополя бальзамического изменяется от 0,35 до 0,81, у тополя черного – от 0,27 до 0,56, в среднем он составляет соответственно 0,52 и 0,44. Согласно этому показателю рост тополя черного несколько хуже, чем бальзамического.

Таблица 2

Относительные показатели тополей бальзамического (числитель) и черного (знаменатель) в зависимости от расположения деревьев в насаждении

Номер ряда	Отношение		Комплексный оценочный коэффициент $d^2 \cdot H$
	высоты к диаметру ствола H/d	диаметра кроны к высоте D/H	
1	0,63/0,62	0,31/0,25	0,81/0,49
2	0,76/0,77	0,19/0,22	0,61/0,33
3	0,76/0,81	0,22/0,16	0,35/0,27
4	0,81/0,75	0,20/0,24	0,49/0,56
5	0,66/0,75	0,24/0,23	0,35/0,54
Среднее	0,72/0,74	0,23/0,22	0,52/0,44

Значительное влияние на рост древесных растений оказывает живой напочвенный покров. На начальных этапах приживаемости и роста искусственных насаждений древесные растения испытывают влияние со стороны степных и рудеральных видов, которые в наибольшей степени адаптированы к засушливым условиям степи, в дальнейшем под пологом искусственных фитоценозов развиваются лесные, лесолуговые и луговые виды. Основными характеристиками древостоя, ограничивающими развитие напочвенного покрова, являются полнота древостоя и степень сомкнутости крон [3, 7].

В зависимости от роста и развития древесного яруса изменяется видовой состав напочвенного покрова (табл. 3). В насаждении из тополя бальзамического наиболее представленными по числу видов семействами являются *Asteraceae* (28,9 %) и *Fabaceae* (18,4 %), в насаждении из тополя черного – *Fabaceae* (32,0 %).

В исследуемых искусственных насаждениях флористические списки живого напочвенного покрова отличаются. Наибольшее число видов наблюдается в насаждении из тополя бальзамического. Состав живого напочвенного покрова насчитывает 38 видов, принадлежащих к 33 родам и 17 семействам.

В насаждении из тополя бальзамического наиболее крупным семейством является *Asteraceae*, включающее 8 родов и 11 видов, что составляет 28,9 % всех видов насаждения. Второе место занимает семейство *Fabaceae*, которое включает 6 родов и 7 видов (18,4 %), третье – семейство *Poaceae*, включающее 3 рода и 4 вида (10,5 %). В семействах *Rosaceae* и *Apiaceae* всего по 2 рода и 2 вида (5,2 %). Остальные семейства (*Cyperaceae*, *Rubiaceae*, *Campanulaceae*, *Lamiaceae*, *Dipsacaceae*, *Primulaceae*, *Ranunculaceae*, *Plantaginaceae*, *Convolvulaceae*, *Iridaceae*, *Polygonaceae* и *Scrophulariaceae*) содержат по 1 роду и виду. Наиболее крупными родами являются: *Artemisia*, включающее 3 вида, а также *Senecio*, *Trifolium* и *Poa*, включающие по 2 вида.

Таблица 3

Систематическое разнообразие травянистого яруса тополевых фитоценозов

Семейство	Соотношение родов и видов живого напочвенного покрова в насаждениях						Всего общих видов, шт.
	Тополь бальзамический			Тополь черный			
	Число родов, шт.	Число видов,		Число родов, шт.	Число видов,		
		шт.	%		шт.	%	
<i>Asteraceae</i> Dum.	8	11	28,90	3	3	12,00	3
<i>Fabaceae</i> Lindl.	6	7	18,40	6	8	32,00	7
<i>Poaceae</i> Barnhart	3	4	10,50	3	3	12,00	3
<i>Rosaceae</i> Juss.	2	2	5,20	2	2	8,00	2
<i>Apiaceae</i> Lindl.	2	2	5,20	2	2	8,00	1
<i>Cyperaceae</i> Juss.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Rubiaceae</i> Juss.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Campanulaceae</i> Juss.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Lamiaceae</i> Lindl.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Dipsacaceae</i> Juss.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Primulaceae</i> Vent.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Ranunculaceae</i> Juss.	1	1	2,65	1	1	4,00	1
<i>Plantaginaceae</i> Juss.	1	1	2,65	–	–	–	–
<i>Convolvulaceae</i> Juss.	1	1	2,65	–	–	–	–
<i>Iridaceae</i> Juss.	1	1	2,65	–	–	–	–
<i>Polygonaceae</i> Juss.	1	1	2,65	–	–	–	–
<i>Scrophulariaceae</i> Juss.	1	1	2,65	–	–	–	–
<i>Итого</i>	33	38	100	23	25	100	23

Живой напочвенный покров в насаждении из тополя черного развит слабее. Состав живого напочвенного покрова насчитывает 25 видов, принадлежащих к 23 родам и 12 семействам. В насаждении наиболее представленным по числу видов семейством является *Fabaceae* (32,0 %). Второе место занимают семейства *Asteraceae* и *Poaceae*, включающие по 3 рода и 3 вида (12,0 %). В семействах *Rosaceae* и *Apiaceae* всего по 2 рода и 2 вида (8,0 %). Остальные семейства (*Cyperaceae*, *Rubiaceae*, *Campanulaceae*, *Lamiaceae*, *Dipsacaceae*, *Primulaceae*, *Ranunculaceae*) содержат по 1 роду и виду. Наиболее крупными родами являются *Trifolium* и *Melilotus*, включающие по 2 вида.

Анализ семейственного спектра изучаемых насаждений показывает следующее. Общими семействами являются следующие: *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Rosaceae*, *Apiaceae*, *Cyperaceae*, *Rubiaceae*, *Campanulaceae*, *Lamiaceae*, *Dipsacaceae*, *Primulaceae* и *Ranunculaceae*. Семейства *Plantaginaceae*, *Convolvulaceae*, *Iridaceae*, *Polygonaceae* и *Scrophulariaceae* характерны только для насаждения из тополя бальзамического.

Различия в видовом составе живого напочвенного покрова изучаемых насаждений подтверждают количественные характеристики (табл. 4).

Таблица 4

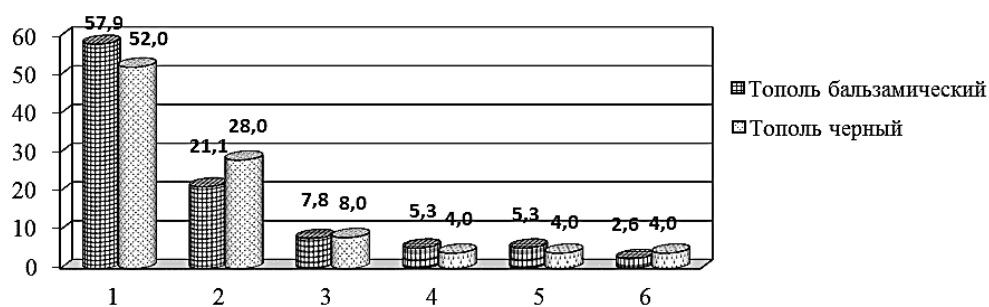
Характеристика напочвенного покрова в тополевых насаждениях

Порода	Проективное покрытие, %	Высота, см	Число видов	Структура доминирования, виды	
				Доминанты	Содоминанты
Тополь бальзамический	40...65	50...58	38	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	<i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Astragalus adsurgens</i> Pall., <i>Bupleurum scorzonerifolium</i> Willd.
Тополь черный	50...65	82...103	25	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	<i>Medicago falcata</i> L., <i>Artemisia vulgaris</i> L., <i>Astragalus adsurgens</i> Pall.

Анализ ценотической структуры живого напочвенного покрова насаждений показывает, что абсолютным доминантом травостоя является вид *Elytrigia repens* (L.) Nevski из сем. *Poaceae*. В индивидуальных биологических спектрах изучаемых фитоценозов преобладают по количеству травянистые многолетники (76,3...80,0 %), одно- и двулетники (20,0...21,1 %); незначительна примесь полукустарничков (2,6 %) в насаждении из тополя бальзамического.

Так, коэффициент общности видового состава ($K_o = 57,5$) показывает, что по этому параметру исследуемые насаждения сходны и в структуре доминирования преобладают с разной долей участия одни и те же виды растений. Но коэффициент дифференциальности, отражающий типологическое разнообразие, свидетельствует о различиях типологической структуры ($K_d = 42,5$).

Экологические особенности того или иного типа растительности наиболее полно характеризуют участие и соотношение определенных экологических типов растений. Более полно отражают экологическую обстановку местообитаний растительных ценозов экологические группы (мезофиты, ксерофиты, галофиты, гигрофиты) и подгруппы переходного характера (ксеромезофиты и ксеропетрофиты) (см. рисунок).



Экологический состав живого напочвенного покрова в фитоценозах тополей бальзамического и черного, %: 1 – мезофиты, 2 – мезоксерофиты, 3 – ксерофиты, 4 – галофиты, 5 – гидрофиты, 6 – ксеропетрофиты

В тополевых насаждениях в составе живого напочвенного покрова преобладают мезофитные травянистые виды (52,0...57,9 %). Второе место по количеству травянистых видов занимает группа мезоксерофитов, составляющая 21,1...28,0 %.

Основу травостоя исследуемых фитоценозов по типу корневых систем и характеру побегообразования составляют корневищные (44,7...52,0 %) и стержнекорневые (39,6...44,0 %) группы растений (табл. 5).

Таблица 5

Распределение видов живого напочвенного покрова (%) в тополевых насаждениях на группы по строению подземных органов

Порода	Жизненная форма по строению подземных органов				
	Корневищные	Стержнекорневые	Корнеотпрысковые	Кисте-корневые	Плотнокустовые
Тополь бальзамический	44,7	39,6	7,8	5,3	2,6
Тополь черный	52,0	44,0	4,0	–	–

В искусственных фитоценозах наряду с лесными травами, представляющими составную часть лесного сообщества, часто встречается огромное количество сорных, степных и луговых трав, которые, поселяясь под пологом насаждения, являются чуждыми ему. Например, в структуре живого напочвенного покрова тополевых насаждений рудеральные виды составляют 32,0...34,2 %.

Всего за годы исследований на пробных площадях встречалось 15 видов сорных растений. Из 1- и 2-летних сорных растений наиболее часто встречались *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и *Galium aparine* L., из многолетних – *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Artemisia vulgaris* L., *Trifolium repens* L. и *Campanula sibirica* L.

Одним из показателей, характеризующих доминирование тех или иных видов в структуре напочвенного покрова, является продуктивность. Запасы надземной фитомассы живого напочвенного покрова варьируют от 120 г/м² в насаждении из тополя бальзамического до 186 г/м² в насаждении из тополя черного (табл. 6). Доля злаков в составе фитомассы составляет 34...45 %. В насаждении из тополя бальзамического доминируют рудеральные виды – пырей ползучий, мятлик оттянутый и мятлик луговой, в насаждении из тополя черного – пырей ползучий и мятлик луговой, соотношение которых может изменяться. Все злаки рудеральные.

Таблица 6

Доля злаков в структуре запасов наземной фитомассы живого напочвенного покрова в тополевых насаждениях

Порода	Общие запасы, г/м ²	В том числе злаки, г/м ² (%)	Из них рудеральных, %	Соотношение, %	
				Пырей	Мятлик
Тополь бальзамический	120	54 (45)	100	6	94
Тополь черный	186	63 (34)	100	–	100

Травянистая растительность потребляет большое количество почвенной влаги, сильно иссушая почву, в связи с чем обладает высокими конкурирующими способностями. Отрицательное воздействие травянистого покрова проявляется с особой силой в сухих и очень сухих типах лесорастительных условий, где борьба за влагу является наиболее напряженной. Здесь изреженные и низкорослые искусственные фитоценозы не в состоянии противостоять вторжению светлюбивых, хорошо обсеменяющихся и вегетативно подвижных сорных, степных и луговых трав, которые, в конечном итоге становясь эдификаторами и субэдификаторами сообщества, обуславливают отмирание насаждений.

Таким образом, создание искусственных насаждений приводит к изменению видового состава напочвенного покрова, по сравнению со степным фитоценозом происходит насыщение видового состава адвентивными видами. В результате распашки степных земель на первом этапе обработка почвы приводит к унификации напочвенного покрова, внедрению рудеральных видов и уменьшению в составе степных видов. В дальнейшем, по мере роста искусственных насаждений, под пологом древесного яруса формируется специфический видовой состав напочвенного покрова, который отличается от видового состава степного фитоценоза. Несмотря на схожесть в росте древесного яруса наблюдается изменение структуры напочвенного покрова под пологом тополей бальзамического и черного. Запасы надземной фитомассы выше в насаждениях тополя черного. Доля рудеральных злаков выше под пологом тополя черного, где в большей степени развиваются корневищные виды. Несмотря на общность видов, коэффициент дифференциальности свидетельствует о различиях типологической структуры фитоценозов в искусственных насаждениях тополей бальзамического и черного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакулин В.Т. Тополь черный в Западной Сибири / Под. ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2007. 121 с.
2. Бобринев В.П. Экология лесных полос в Восточном Забайкалье. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 159 с.
3. Ковылина О.П., Сухенко Н.В. Защитное лесоразведение в Ширинской степи. Красноярск: СибГТУ, 2008. 168 с.
4. Лобанов А.И. Особенности роста тополевых полезащитных насаждений в степной зоне Северной Кулунды // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск, 1998. Вып. 6. С. 67–72.
5. Одум Ю. Экология. В 2-х т. Т. 2: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 376 с.
6. Понятовская В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. III. С. 209–299.
7. Прокопьев Е.П. и др. Опыт оценки антропогенной трансформации растительности зеленой зоны г. Томска // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: Материалы 4-й Росс. конф. Красноярск, 2006. Т. 2. С. 79–84.
8. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова: Избранные работы. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1971. 335 с.

9. Савин Е.Н., Лобанов А.И., Невзоров В.Н., Ковылин Н.В., Ковылина О.П. Выращивание лесных полос в степях Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 102 с.
10. Ступникова А.Н., Труфанова Н.В., Польский М.Н. Перевеянные почвы, их состав и закономерности размещения в связи с рельефом // Формирование и свойства перевеянных почв. М.: Наука, 1967. С. 59–134.
11. Туликов А.М. Методы учета и картирования сорно-полевой растительности. М.: Наука, 1974. 49 с.
12. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
13. Чочиа Н.Г., Краснов В.И., Ипатова З.Н. Геологическое строение Минусинских межгорных впадин и перспективы их нефте- и газоносности. Л.: Гостоптехиздат, 1958. 89 с.
14. Egler F.E. Vegetation science concepts. 1. Initial floristic composition – a factor in old-field vegetation development // Vegetatio. 1954. Vol. 4. P. 412–417.

Поступила 16.03.15

UDC 630.182.41:630.182.47/48:630.232
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.31

Relation Features of Forest Stands and Ground Vegetation in Artificial Phytocenosis of *Populus Balsamifera* L. and *Populus Nigra* L.

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

O.P. Kovylyna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

N.V. Sukhenko, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Siberian State Technological University, Mira ave., 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: kovylin.nik@yandex.ru

The paper analyzes the relationship between a forest stand and a living ground cover in the artificial plant communities of *Populus balsamifera* L. and *Populus nigra* L. in a steppe. Objectives of the research are to determine the linear growth indexes of the poplar plantations, their safety at the age of 42 years, characteristics of a living ground cover; to select dominants and co-dominants, environmental groups; to differentiate the species of a living ground cover into the groups depending on the structure of the underground organs; to determine the share of graminaceous plants in the structure of phytomass land reserves of a living ground cover in the poplar plantations. Herbaceous vegetation consumes a huge amount of soil moisture and dehydrates the soil and therefore has a high competitive ability. The most significant negative impact of a grass layer is observed in the dry and very dry types of the sites, where the struggle for moisture is the most intense. Thinned and poor stands are unable to resist the invasion of light-demanding, well-seeded and vegetatively moving weed, steppe and meadow grasses, which eventually become edificators and sub-edificators of the community and cause death of the plants. The creation of artificial plantations causes the changes in the species composition of the ground cover in comparison with the steppe plant community; species composition is saturated with the adventitious species. As a result of the steppe lands plowing in the first phase the soil treatment leads to the unification of the ground cover, the introduction of the ruderal species and reduction in the composition of the steppe species. In the future, with the artificial plants growing under the canopy of a tree layer the specific species composition of the ground vegetation is formed, which is different from the species composition of the steppe phytocenosis. Despite the similarity in the growth of the tree layer we observe a change in the structure of the ground cov-

er under the canopy of balsam poplar and black poplar. The greatest number of species is observed in the balsam poplar plantations. The resources of aboveground phytomass, share of the ruderal graminaceous plants, and amount of the rhizomatous species are higher in the black poplar plantations.

Keywords: artificial plant communities, balsam poplar (*Populus balsamifera* L.), black poplar (*Populus nigra* L.), living ground cover, Jaccard and differential similarity coefficient.

REFERENCES

1. Bakulin V.T. *Topol' Chernyy v Zapadnoy Sibiri* [Black Poplar in Western Siberia]. Ed. by I.Yu. Koropachinskiy. Novosibirsk, 2007. 121 p.
2. Bobrinev V.P. *Ekologiya lesnykh polos v Vostochnom Zabaykal'e* [Ecology of Forest Strips in East Transbaikalia]. Novosibirsk, 1988. 159 p.
3. Kovylyina O.P., Sukhenko N.V. *Zashchitnoe lesorazvedenie v Shirinskoj stepi* [Protective Afforestation in the Shira Steppe]. Krasnoyarsk, 2008. 168 p.
4. Lobanov A.I. Osobennosti rosta topolevykh polezashchitnykh nasazhdeniy v stepnoy zone Severnoy Kulundy [Features of Growth of Poplar Shelterbelt Plantings in the Steppe Zone of North Kulunda]. *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri*, 1998, iss. 6, pp. 67–72.
5. Ponyatovskaya V.M. Uchet obiliya i osobennosti razmeshcheniya vidov v estestvennykh rastitel'nykh soobshchestvakh [Abundance Accounting and Features of Species Distribution in Natural Plant Communities]. *Polevaya geobotanika* [Field Geobotany]. Moscow; Leningrad, 1964, vol. III, pp. 209–299.
6. Prokop'ev E.P., et al. Opyt otsenki antropogennoy transformatsii rastitel'nosti zelenoy zony g. Tomsk [Experience in Anthropogenic Transformation Assessing of Vegetation of a Green Zone in Tomsk]. *Flora i rastitel'nost' Sibiri i Dal'nego Vostoka: Materialy Ross. konf.* [Flora and Vegetation of Siberia and the Far East. Proc. Russ. Conf.]. Krasnoyarsk, 2006, vol. 2, pp. 79–84.
7. Ramenskiy L.G. *Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova: Izbrannye raboty* [Problems and Methods of the Vegetation Studying: Selected Papers]. Leningrad, 1971. 335 p.
8. Savin E.N., Lobanov A.I., Nevzorov V.N., Kovylin N.V., Kovylyina O.P. *Vyrashchivanie lesnykh polos v stepyakh Sibiri* [Growing of Forest Strips in the Siberian Steppes]. Novosibirsk, 2001. 102 p.
9. Stupnikova A.N., Trufanova N.V., Pol'skiy M.N. Pereveyannye pochvy, ikh sostav i zakonomernosti razmeshcheniya v svyazi s rel'efom [Deflated Soils, Their Composition and Location Features in Connection with a Relief]. *Formirovanie i svoystva pereveyannykh pochv* [Formation and Features of Deflated Soils]. Moscow, 1967, pp. 59–134.
10. Tulikov A.M. *Metody ucheta i kartirovaniya sorno-polevoy rastitel'nosti* [Accounting and Mapping Methods of Field Weeds]. Moscow, 1974. 49 p.
11. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular Plants of Russia and Neighbouring Countries]. Saint Petersburg, 1995. 992 p.
12. Chochia N.G., Krasnov V.I., Ipatova Z.N. *Geologicheskoe stroenie Minusinskikh mezhgornnykh vpadin i perspektivy ikh nefte- i gazonosnosti* [Geological Structure of Minusinsk Intermontane Basins and Prospects of Their Oil and Gas Content]. Leningrad, 1958. 89 p.
13. Egler F.E. Vegetation Science Concepts. 1. Initial Floristic Composition – a Factor in Oldfield Vegetation Development. *Vegetatio*, 1954, vol. 4, pp. 412–417.
14. Odum E.P. *Ecology*. New York, 1963. 152 p.

Received on March 16, 2015

УДК 630*2:630*5:516.86

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.42

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СХЕМЫ ТИПОВ ЛЕСА СОСНЯКОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ
НА ОСНОВЕ РЕСУРСНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ**

М.В. Устинов¹, канд. с.-х. наук, доц.

О.И. Глушенков², канд. с.-х. наук, дир. «Заплеспроект»

Р.С. Корсиков², зл. инж. «Заплеспроект»

¹Брянская государственная инженерно-технологическая академия, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: mvustinov@mail.ru

²Филиал «Заплеспроект» ФГУП «Рослесинфорг», ул. Никитина, д. 14, г. Брянск, Россия, 241021; e-mail: mail@zaples.ru

В связи со сложными геологическими условиями территории Брянской области, важным вопросом является совершенствование схемы типов леса, применяемой лесоустройством. При описании участков лесного фонда основополагающими показателями являются: тип леса – по В.Н. Сукачеву; тип лесорастительных условий – по П.С. Погребняку; класс бонитета – по бонитеровочным шкалам М.М. Орлова. Эти три классификации, имея свои достоинства и недостатки, твердо вошли в практику лесного хозяйства. Цель исследований – определение взаимосвязей типов лесорастительных условий и классов бонитета и уточнение на их основе действующей схемы типов леса сосняков естественного происхождения в лесах области. Объектом исследований являются насаждения естественного происхождения с преобладанием в древостое сосны обыкновенной. Для моделирования динамики высот древостоев сосны использована характеристика 47 181 насаждения, в составе древостоев которых преобладает сосна обыкновенная естественного происхождения. Площадь этих сосняков составляет 177 093 га. Насаждения представлены шестнадцатью типами лесорастительных условий ($A_0...A_5$, $B_2...B_5$, $C_2...C_5$, D_2 , D_3). Разработана математическая модель динамики высот сосновых древостоев по типам лесорастительных условий. Все коэффициенты уравнения для типов лесорастительных условий, почв по классам продуктивности и средней температуры самого теплого месяца в году получены на уровне значимости $\alpha < 0,05$; $R^2 = 0,914$. Отклонения средних высот, вычисленных по математической модели, от средних высот древостоев на пробных площадях составляют $\pm 0,5\%$. С помощью модели динамики высот уточнены возможные классы бонитета сосняков по типам лесорастительных условий. Полученные результаты позволили уточнить для лесов Брянской области действующую схему типов леса.

Ключевые слова: тип лесорастительных условий, тип леса, класс бонитета, математическое моделирование, высота.

Современная типология леса является результатом длительного развития, в которое вложен труд нескольких поколений ученых и практиков лесоводов – Г.Ф. Морозов [7], Е.В. Алексеев [1], Д.В. Воробьев [2], В.Г. Нестеров [8], П.С. Погребняк [10], М.Е. Ткаченко [18], В.Н. Сукачев [13, 14, 15],

Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов [4], Б.П. Колесников [3], И.С. Мелехов [6], А.С. Тихонов [17], работы и имена которых хорошо известны широкому кругу специалистов. Подробное описание формирования учения о лесной типологии сделано в работах Л.П. Рысина [11]. В России, при описании участков леса, основополагающими показателями являются: тип леса, определяемый на основе принципов, предложенных В.Н. Сукачевым [15]; тип лесорастительных условий (ТЛУ), определяемый на основе принципов, предложенных П.С. Погребняком [10]; класс бонитета – по бонитерочным шкалам, разработанным М.М. Орловым [9]. Известно, что каждая из трех классификаций имеет свои достоинства и недостатки.

Так, В.Н. Седых отмечает, что в лесной типологии, основоположником которой является В.Н. Сукачев, фитоценотическая часть типа леса и его составляющая – лесорастительные условия – не имеют четких критериев для их выделения на аэрокосмических снимках. В основе типологической схемы «украинской школы» лежат четкие критерии для выделения типов леса по трофности и влажности почвы, но их определение также возможно только наземными методами [12, с. 75]. Из сказанного следует, что тип леса не может идентифицироваться на аэрокосмических снимках.

Относительно типов леса, типов лесорастительных условий (ТЛУ) и классов бонитета В.К. Хлюстов отмечает, что каждая из упомянутых классификаций по своей сути автономна и находит отражение в материалах лесоустройства в виде отдельных граф таксационных описаний [21, с. 6]. Однако при оценке насаждения, таксаторы руководствуются схемой типов леса, в которой предусмотрена взаимосвязь типов леса, ТЛУ и классов бонитета между собой по породам. Нужно отметить, что «в основу типологической характеристики лесных земель Брянской области положена комплексная биогеоценотическая классификация типов леса и типов лесорастительных условий, разработанная доктором сельскохозяйственных наук, профессором Б.В. Гроздовым специально для условий Брянской области, уточненная и дополненная на основании многолетних данных Западного государственного лесоустроительного предприятия и кафедры лесоводства БГИТА (проф. А.С. Тихонов), как наиболее полно отражающая сущность взаимосвязи различных лесобразующих факторов. Эта классификация построена с учетом совокупности всех видов растительности на территории, занятой древостоем. ... Принятая схема включает 25 типов леса» [5, с. 27].

Тем не менее, применяя эту классификацию при проведении лесоустройства лесов области, практики отмечают, что встречается много насаждений, при оценке которых тип леса, ТЛУ или класс бонитета не соответствуют взаимосвязям между собой, предусмотренным в действующей схеме типов леса. Например, в ТЛУ – А₃, согласно действующей схеме типов леса, могут произрастать сосняки I и II классов бонитета по шкале М.М. Орлова. Фактически встречаются сосняки и I^a класса бонитета.

Между ТЛУ и классами бонитета существует связь, которая выражается в том, что значению одного признака соответствует одно или несколько вполне определенных значений другого. Например, в сосняках брусничниках (ТЛУ – В₂) формируются высокопроизводительные сосновые насаждения I^a-II классов бонитета, тогда как в сосняках осоко-сфагновых (ТЛУ – А₅) – низкопроизводительные насаждения V-V^a классов бонитета и т. д.

Изложенное предопределило цель исследования – определение взаимосвязей ТЛУ и классов бонитета и уточнение на их основе действующей схемы типов леса сосняков естественного происхождения в лесах области. Поставленная цель вызвана производственной необходимостью. Уточненная схема позволит контролировать правильность определения ТЛУ и класса бонитета при таксации сосновых насаждений.

Первоначальной задачей является моделирование динамики высот древостоев сосны по ТЛУ от возраста с учетом почвенно-климатических факторов, второй задачей – сопоставление динамики высот сосняков по ТЛУ, вычисленных по математической модели, с высотами классов бонитета по шкале М.М. Орлова. Решение поставленных задач позволит выявить по каждому ТЛУ следующее: сосняки каких классов бонитета могут произрастать в них.

Объектом исследования являлись сосняки естественного происхождения. Исследования проводили в лесном фонде Брянской области, общая площадь которого насчитывает 1 208,9 тыс. га. В их составе земли, покрытые лесной растительностью, занимают 1 128,1 тыс. га, или 93 %. На этих землях 47 181 таксационный выдел общей площадью 177 093 га, которую занимают насаждения с преобладанием в древостоях первого яруса сосны обыкновенной естественного происхождения. Для контроля результатов, получаемых по математической модели динамики высот сосняков, заложено 407 пробных площадей (ПП). Количество ПП закладывали пропорционально площадям, занимаемым соответствующим ТЛУ. Закладка ПП выполнена во всех лесничествах области. По каждому ТЛУ пробные площади закладывали в разных по возрасту сосняках, разным количеством единиц сосны в составе и с разной относительной полнотой.

Для решения *первой задачи* насаждения упомянутых таксационных выделов были распределены по шестнадцати ТЛУ. По каждому ТЛУ проведена проверка на нормальность распределения количества выделов по высоте с использованием статистик Колмогорова–Смирнова, Лиллиефорса и Шапиро–Уилка. Результаты, полученные на уровне значимости $\alpha < 0,05$, подтверждают нормальность распределения высот, что дает право применять к каждой выборке статистические методы оценки и методы математического анализа, включая множественную регрессию. Перед построением математической модели динамики высот древостоев сосны выполнен корреляционный анализ на наличие парных корреляционных связей высоты с 34 переменными, учтенными при ресурсно-экологическом районировании лесов Брянской области [19]. Из них корреляционную связь с высотой древостоя имеют относительная полнота древостоя ($r = 0,32$), коэффициент сосны в составе древостоя первого

яруса ($r = 0,38$), средняя температура самого теплого месяца в году ($r = 0,38$), а также почвы по классам продуктивности: Π_1 – торфяные ($r = 0,32$); Π_2 – дерново-подзолистые песчаные ($r = -0,43$); Π_4 – дерново-подзолистые суглинистые ($r = -0,41$); Π_5 – дерново-подзолистые среднесуглинистые пылеватые на покровных отложениях ($r = -0,36$); Π_6 – серые лесные и черноземы оподзоленные среднесуглинистые пылеватые на покровных отложениях ($r = 0,46$). Почв класса продуктивности Π_3 на территории области нет. Отмеченные корреляции значимы на уровне $\alpha < 0,05$. Несмотря на слабую корреляцию, названные переменные включены в математическую модель динамики высот, так как, например, между среднегодовой температурой воздуха и приростом древостоев сосны по высоте существует связь, а среднегодовые температуры воздуха в границах области не одинаковы [20]. Статистическая обработка материала и моделирование динамики высот выполнено с использованием программ Statistika v.6.1 и Microsoft Excel 2013. Разработанная математическая модель динамики высот сосны является единой для всех ТЛУ и работает для возраста насаждений от 20 до 200 лет.

$$H = \exp(-4,35289 + K + 1,9761 \cdot \ln(A) - 0,06538 \cdot (\ln(A))^2 - 0,01577 \cdot (\ln(A))^3 + 0,00006 \cdot (\ln(A))^4 + 0,08857 \cdot \ln(P) - 0,66488 \cdot \ln(\Pi_1) + 0,09206 \cdot \ln(\Pi_2) + 0,23778 \cdot \ln(\Pi_4) - 0,06684 \cdot \ln(\Pi_5) + 0,12512 \cdot \ln(\Pi_6) - 0,0082 \cdot \ln(T)).$$

Уравнение значимо, поскольку критерий Фишера $F_{\text{факт}} = 9\,917,7$ при уровне значимости $\alpha < 0,05$; коэффициент детерминации $R^2 = 0,914$.

Принятые в математической модели обозначения:

H – средняя высота соснового древостоя первого яруса, м;

K – коэффициент для соответствующего ТЛУ (табл. 1);

A – возраст соснового древостоя первого яруса, лет;

P – относительная полнота древостоя;

$\Pi_{1,2,4,5,6}$ – переменная соответствующего класса почв, % (табл. 2);

T – средняя температура наиболее теплого месяца в году, °С (табл. 2).

В случаях, когда переменные Π_1 и/или Π_5 равны 0, то логарифм этих переменных и множитель при них из уравнения исключаются.

Таблица 1

Значения коэффициентов K для соответствующих ТЛУ

ТЛУ	K	ТЛУ	K	ТЛУ	K	ТЛУ	K
A_0	0	A_4	-0,03583	B_4	0,09624	C_4	0,16254
A_1	0,05956	A_5	-0,52675	B_5	-0,18847	C_5	-0,09271
A_2	0,28317	B_2	0,33326	C_2	0,40428	D_2	0,41937
A_3	0,32873	B_3	0,31916	C_3	0,39601	D_3	0,41583

Примечание. $A_0 \dots D_3$ – типы лесорастительных условий, определяемые на основе принципов, предложенных П.С. Погребняком; по степени богатства почв: бедные – боры (А), относительно бедные – суборы (В), богатые – сложные суборы (С), очень богатые – дубравы (Д); по степени влажности почв: 0 – очень сухие, 1 – сухие, 2 – свежие, 3 – влажные, 4 – сырые, 5 – мокрые (болота).

Таблица 2

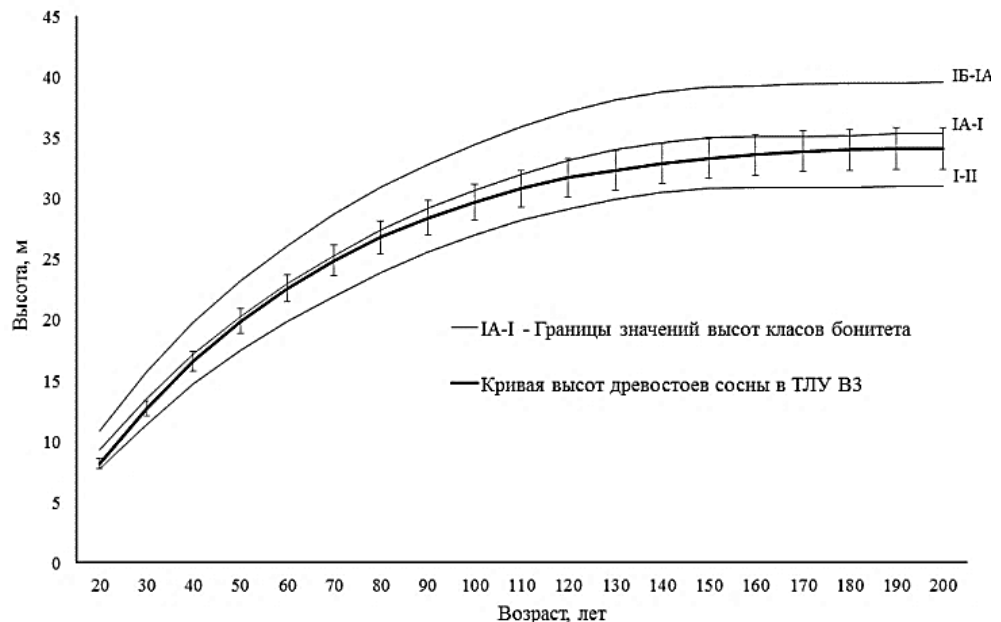
**Значения переменных для классов продуктивности почв
и средних температур наиболее теплого месяца в году
по ресурсно-экологическим лесным районам (РЭЛР) Брянской области [19]**

Переменная	Значение переменной по РЭЛР						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
П ₁ , %	1,2	0	0	1,2	1,2	0	0
П ₂ , %	23,7	61,7	20,1	23,7	23,7	61,7	16,1
П ₄ , %	51,2	10,9	20,4	51,2	51,2	10,9	6,7
П ₅ , %	15,3	5,7	20,9	15,3	15,3	5,7	0
П ₆ , %	8,6	21,7	38,6	8,6	8,6	21,7	77,2
T, °C	18,75	17,9	17,9	18,75	18,75	17,90	18,85

Проверка качества разработанной математической модели выполнена путем сравнения высот сосны, полученных по модели, с высотами сосны, полученными на ПП. При этом среднее отклонение высот сосны по всем ТЛУ составляет $\pm 0,5\%$, что подтверждает правильность работы модели динамики высот.

Вторую задачу решали путем наложения средних значений высот с границами варьирования отклонений высот в пределах $\pm 3\sigma$ сосняков по шестнадцати ТЛУ, вычисленных по математической модели, на высоты классов бонитета по шкале М.М. Орлова, уточненные и аппроксимированные до 260 лет [16].

Пример такого наложения высот древостоев сосны для ТЛУ – В₃ в границах III ресурсно-экологического лесного района, в который входят Жуковское, Выгоничское и Почепское лесничества, показано на рисунке.



Динамика высоты древостоев сосны в ТЛУ – В₃ в границах значений высот по шкале классов бонитета М.М. Орлова, уточненных и аппроксимированных до 260 лет [16]

Наложение высот позволило по каждому ТЛУ выявить в каком возрасте и каких классов бонитета могут произрастать древостой сосны.

В табл. 3 по РЭЛР приведены классы бонитетов и возрастные периоды (в скобках), в пределах которых насаждения оцениваются соответствующим классом бонитета. Классы бонитета по ТЛУ приведены последовательно, в соответствии с частотой встречаемости сосновых насаждений соответствующих классов бонитета в лесах области.

Таблица 3

Классы бонитета относительно ТЛУ у сосняков в лесах Брянской области

ТЛУ	По действующей схеме типов леса Брянской области	По РЭЛР				Рекомендуемые по области	Различия
		I, IV, V	II, VI	III	VII		
A ₀	IV, III	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₁₀₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₇₅₎ IV ₍₉₅₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₁₀₀₎	III, II, IV	Есть
A ₁	III, IV	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₁₀₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	III, II, IV	Есть
A ₂	II, I	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₄₀₋₁₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₃₀₋₁₀₀₎	I, II, I ^a	Есть
A ₃	I, II	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₅₀₋₁₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₃₀₋₂₀₀₎ II ₍₉₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₃₀₋₂₀₀₎	I, I ^a , II	Есть
A ₄	III, IV, V	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₆₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₇₀₎ IV ₍₇₅₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₉₀₎ IV ₍₉₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₉₀₎ IV ₍₈₅₋₂₀₀₎	III, IV, II	Есть
A ₅	V, V ^a	V ₍₂₀₋₉₀₎ V ^a ₍₈₀₋₂₀₀₎ IV ₍₂₀₋₅₀₎	V ₃₅₋₂₀₀ IV ₂₀₋₄₀ V ^a ₁₀₀₋₂₀₀	V ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₂₀₋₇₀₎ V ^a ₍₉₀₋₂₀₀₎	V ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₂₀₋₇₅₎ V ^a ₍₈₅₋₂₀₀₎	V, IV, V ^a	Есть
B ₂	I, II, I ^a	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₃₀₋₂₀₀₎ II ₍₉₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₎	I, I ^a , II	Нет
B ₃	I, II	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₅₅₋₉₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₃₀₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₁₀₅₋₂₀₀₎	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₅₋₂₀₀₎ II ₍₁₀₅₋₂₀₀₎	I, I ^a , II	Есть
B ₄	II, III, IV, V	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ II ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₁₀₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₂₀₀₎	II, III, IV	Есть
B ₅	IV, V	IV ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₇₀₎ V ₍₉₀₋₂₀₀₎	IV ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₉₀₎ V ₍₉₅₋₂₀₀₎	IV ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₁₀₅₎	IV ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₁₀₀₎	IV, III, V	Есть
C ₂	I ^a , I, II, I ^b	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₅₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₄₅₋₂₀₀₎	I ^a , I, I ^b	Есть

Окончание табл. 3

ТЛУ	По действующей схеме типов леса Брянской области	По РЭЛР				Рекомендуемые по области	Различия
		I, IV, V	II, VI	III	VII		
С ₃	I ^a , I, I ^b	I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₄₅₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₄₀₋₂₀₀₎	I ^a , I, I ^b	Нет
С ₄	II, III	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₂₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₁₁₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₉₀₋₂₀₀₎	II ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ III ₍₉₀₋₂₀₀₎	II, III, I	Есть
С ₅	III, IV	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₂₀₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₄₅₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₆₅₋₂₀₀₎	III ₍₂₀₋₂₀₀₎ IV ₍₆₅₋₂₀₀₎	III, IV	Нет
Д ₂	I ^a , I ^b , I, II	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₅₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₄₅₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₄₀₋₂₀₀₎	I ^a , I, I ^b	Есть
Д ₃	I ^b , I ^a , I	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₅₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₅₀₋₂₀₀₎	I ^a ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ₍₂₀₋₂₀₀₎ I ^b ₍₃₀₋₂₀₀₎	I ^a , I, I ^b	Нет

Данные табл. 3 показывают, что высоты сосновых древостоев в ТЛУ В₂, С₃, С₅, Д₃, вычисленные по разработанной модели динамики высот, соответствуют тем же классам бонитета, что и в действующей схеме типов леса, а в остальных ТЛУ могут произрастать насаждения сосны, оцениваемые классами бонитета, которые не учтены в действующей схеме типов леса.

Выводы

1. Разработанная математическая модель позволяет определять высоты древостоев сосны по ТЛУ с учетом комплекса переменных – возраста и относительной полноты древостоя, коэффициента сосны в составе первого яруса древостоя, площадей почв по классам продуктивности и средней температуры самого теплого месяца в году, которые в разной мере, в границах области, оказывают влияние на рост сосны в высоту.

2. Значимость и достоверность разработанной модели подтверждается критерием Фишера $F_{\text{факт}} = 9\,917,7$, при уровне значимости $\alpha < 0,05$, показателем высокой тесноты корреляционной связи ($R^2 = 0,914$) и результатами проверки по данным пробных площадей.

3. Разработанная математическая модель динамики высот позволила обосновать взаимосвязь ТЛУ с классами бонитета сосняков естественного происхождения, что дало возможность уточнить действующую схему типов леса для сосняков Брянской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Е.В.* Об основных понятиях лесоводственной типологии: докл. К.: Лесн. секция с.-х. СХНК Украины, 1927. 24 с.
2. *Воробьев Д.В.* Типы лесов европейской части СССР. К.: АН УССР, 1953. 449 с.
3. *Колесников Б.П.* Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение. 1974. № 2. С. 3–20.
4. *Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практ. руководство. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1973. 176 с.
5. Лесной план Брянской области на 2009–2018 гг./Разработчик БГИТА, руководитель Ф.В. Кишенков (Внесены изменения: филиал «Заплеспроект» ФГУП «Рослесинфорг»). Брянск: Заплеспроект, 2010. 567 с.
6. *Мелехов И.С.* Лесная типология. М.: МЛТИ, 1976. 73 с.
7. *Морозов Г.Ф.* Учение о типах насаждений. СПб., 1914. 184 с.
8. *Нестеров В.Г.* Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 656 с.
9. *Орлов М.М.* Типология в лесоустройстве // Лесн. журн. 1917. Вып. 4–6. С. 168–186.
10. *Погребняк П.С.* Основы лесной типологии. 2-е изд., испр. и доп. К.: АН УССР, 1955. 455 с.
11. *Рысин Л.П.* Лесная типология в СССР. М.: Наука, 1982. 216 с.
12. *Седых В.Н.* Ландшафтно-типологическая основа для проведения лесоустройства на территории Сибири //Лесная таксация и лесоустройство/ Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. 2005. Вып. 1(34). 2005. С. 70–77.
13. *Сукачев В.Н.* Дендрология с основами лесной геоботаники: учеб. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1934. 614 с.
14. *Сукачев В.Н.* Краткое руководство к исследованию типов леса. М.: Новая деревня, 1927. 150 с.
15. *Сукачев В.Н.* Избранные труды. В 3-х томах // Под ред. Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1972. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. 419 с.
16. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) // Рук. работ А.З. Швиденко. Изд. 2-е, доп. М.: Междунар. Ин-т прикл. системного анализа, Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, МГУЛ, М., 2008. 886 с.
17. *Тихонов А.С.* Лесоведение: учеб. пособие для студентов вузов. 2-е изд. Калуга: ГП «Облиздат», 2011. 332 с.
18. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство. 2-е изд., испр. и доп. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 599 с.
19. *Устинов М.В., Устинов М.М.* Ресурсно-экологическое районирование лесов Брянской области // Вестн. Поволжского гос. технол. ун-та. Серия «Лес. Экология. Природопользование». 2014. № 3(23). С. 18–28.
20. *Устинов М.В., Устинов С.М.* Рост сосны обыкновенной в высоту в условиях хронического радиоактивного загрязнения // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Под общей ред. Е.А. Памфилова. Вып. 39. Брянск: БГИТА, 2014. С. 88–91.
21. *Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В.* Многомерные закономерности текущей актуализации таксационных показателей древостоев: Лесотаксационный справ.: учеб. пособие // М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. 141 с.

Поступила 13.05.15

UDC 630*2:630*5:516.86

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.42

Mathematical Modeling of the Scheme of the Pine Forest Types of Bryansk Region on the Basis of the Resource and Ecological Zoning

M.V. Ustinov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.I. Glushenkov², Candidate of Agricultural Sciences

R.S. Korsikov², Chief Engineer

¹Bryansk State Engineering Technological Academy, S. Dimitrov ave., 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: mvustinov@mail.ru

²Zaplesproekt, Branch of Federal State Unitary Enterprise Roslesinfor, Nikitin str., 14, Bryansk, 241021, Russian Federation; e-mail: mail@zaples.ru

Due to the complex geological conditions of Bryansk region, an important issue is the improvement of the forest types scheme used by the forest management. The fundamental indicators in the description of the forest areas are a forest type sensu V.N. Sukachev; a forest site type sensu P.S. Pogrebnyak; a quality class according to the scales of M.M. Orlov. These three classifications, with their advantages and disadvantages, are firmly included in the practice of forestry. The purpose of the research is to define the relationship between the forest site types and the quality classes, and refinement of the existing scheme of the pine forest types of natural origin in the forests of the region. The objectives of the research are the plantations of natural origin with a predominance of Scots pine. The features of 47181 plants are used to simulate the dynamics of height of pine forest stands. Scots pine of natural origin is dominated in the structure of these stands. The area of these pine forests is 177093 ha. Plantings are represented by sixteen forest site types (A₀...A₅, B₂...B₅, C₂...C₅, D₂, D₃). The mathematical model of the height dynamics of pine stands according to the forest site types is developed. All the coefficients of the equation for the forest site types, soil productivity classes and the average temperature of the warmest month in the year are obtained at the significance level of $\alpha < 0.05$; $R^2 = 0.914$. The deviations of average height calculated according to the mathematical model, from an average height of forest stands in the experimental plots are ± 0.5 %. The possible quality classes of pine forests according to the forest site types are defined with the use of a model of the height dynamics. The obtained results allowed us to clarify the scheme of the forest types in Bryansk region.

Keywords: forest site type, forest type, quality class, mathematical modeling, height.

REFERENCES

1. Alekseev E.V. *Ob osnovnykh ponyatiyakh lesovodstvennoy tipologii* [On the Basic Terms of Silvicultural Typology]. Kiev, 1927. 24 p.
2. Vorob'ev D.V. *Tipy lesov evropeyskoy chasti SSSR* [Forest Types of the European Part of the USSR]. Kiev, 1953. 449 p.
3. Kolesnikov B.P. Geneticheskiy etap v lesnoy tipologii i ego zadachi [Genetic Stage in the Forest Typology and Its Objectives]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1974, no. 2, pp. 3–20.
4. Kolesnikov, B.P., Zubareva, R.S., Smolonogov E.P. *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti* [Forest Growth Conditions and the Forest Types of Sverdlovsk Region]. Sverdlovsk, 1973. 176 p.

5. *Lesnoy plan Bryanskoy oblasti na 2009–2018 gg.* [The Forest Plan of Bryansk region in 2009–2018]. Bryansk, 2010. 567 p.
6. Melekhov I.S. *Lesnaya tipologiya* [Forest Typology]. Moscow, 1976. 73 p.
7. Morozov G.F. *Uchenie o tipakh nasazhdeniy* [Teaching of the Types of Growth]. Saint Petersburg, 1914. 184 p.
8. Nesterov V.G. *Obshchee lesovodstvo* [General Forest Science]. Moscow; Leningrad, 1954. 656 p.
9. Orlov M.M. *Tipologiya v lesoustroystve* [Typology in the Forest Management]. *Lesnoy zhurnal*, 1917, no. 4–6, pp. 168–186.
10. Pogrebnyak P.C. *Osnovy lesnoy tipologii* [Principles of Forest Typology]. Kiev, 1955. 455 p.
11. Rysin L.P. *Lesnaya tipologiya v SSSR* [Forest Typology in the USSR]. Moscow, 1982. 216 p.
12. Sedykh V.N. *Landshaftno-tipologicheskaya osnova dlya provedeniya lesoustroystva na territorii Sibiri* [Landscape and Typological Basis of the Forest Management in Siberia]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Inventory and Forest Management], 2005, vol. 1(34), pp. 70–77.
13. Sukachev V.N. *Kratkoe rukovodstvo k issledovaniyu tipov lesa* [Quick Guide to the Study of the Forest Types]. Moscow; Leningrad, 1927. 150 p.
14. Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the Basics of Forest Geobotany]. Moscow, 1934. 614 p.
15. Sukachev V.N. *Izbrannyye trudy. V 3-kh tomakh* [Selectas. In 3 volumes]. Ed. by E.M. Lavrenko. *T. 1: Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Volume 1: Fundamentals of Forest Typology and Biogeocenology]. Leningrad, 1972. 419 p.
16. *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii (normativno-spravochnye materialy)* [Tables and Models of Growth and Productivity of Stands of the Main Forest-Forming Species of Northern Eurasia]. Moscow, 2008. 886 p.
17. Tikhonov A.S. *Lesovedenie* [Forest Science]. Kaluga, 2011. 332 p.
18. Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow; Leningrad, 1955. 599 p.
19. Ustinov M.V., Ustinov M.M. *Resursno-ekologicheskoe rayonirovanie lesov Bryanskoy oblasti* [Resource and Ecological Forests Zoning in Bryansk Region]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2014, no. 3(23), pp. 18–28.
20. Ustinov M.V., Ustinov S.M. *Rost sosny obyknovnoy v vysotu v usloviyakh khronicheskogo radioaktivnogo zagryazneniya* [Height Growth of Scots Pine under Conditions of Chronic Radioactive Impurity]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual Problems of the Timber Complex]. Ed. by E.A. Pamfilov. Bryansk, 2014, no. 39, pp. 88–91.
21. Khlystov V.K., Ustinov M.M., Khlystov D.V. *Mnogomernyye zakonomernosti tekushchey aktualizatsii taksatsionnykh pokazateley drevostoev* [Multidimensional Patterns of Current Actualization of the Taxational Parameters of Forest Stands]. Moscow, 2013. 141 p.

Received on May 13, 2015

УДК 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52

СОСТОЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЕЛИ В МЕЛКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ НА СЕВЕРЕ РОССИИ

Л.В. Зарубина, канд. с.-х. наук, доц.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

имени Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;

e-mail: Liliva270975@yandex.ru

Изучено естественное возобновление под пологом мелколиственных лесов на севере Европейской части России. Исследования проведены в березняках и осинниках черничных разного возраста. Установлено, что естественное возобновление ели на Севере под пологом мелколиственных лесов в целом протекает вполне успешно. Под пологом березняков имеется в среднем до 4,4 тыс. экз./га подрост ели, которого вполне достаточно для восстановления ельников при надлежащем соблюдении лесоводственных требований и технологий во время организации лесосечных работ при рубках. В осинниках больше всего молодняка ели содержится в среднетаежной подзоне (в среднем 2,8 тыс. экз./га), которого также вполне достаточно для переформирования их в елово-лиственные и еловые насаждения. В северной подзоне тайги возобновление елью в осинниках неудовлетворительное. Здесь на 1 га площади имеется не более 1,0 тыс. экз. молодой ели и около 0,6 тыс. экз. березы. Состояние имеющегося подрост ели под пологом березняков и осинников неудовлетворительное, которое может быть существенно улучшено соответствующими мерами в виде выборочных или постепенных рубок. По мере продвижения с севера на юг общее количество подрост ели под пологом мелколиственных лесов уменьшается, особенно заметно сокращается доля крупного подрост, доля мелкого – возрастает. По количеству имеющегося под пологом подрост березняки северной подзоны отличаются от средней подзоны более высоким его содержанием. Средний возраст и высота большей части подрост ели в березняках черничных северной подзоны по сравнению со средней подзоной на 10 лет выше и составляет 48 и 38 лет и 2,5 и 1,4 м соответственно. Участие лиственных пород в лесовозобновительном процессе березняков и осинников колеблется от 10 до 28 %. Основным представителем в подросте является береза (до 82 %). Доля участия в подросте осины в березняках не превышает 6 %, в осинниках она повышается до 17 %.

Ключевые слова: лесовозобновление, подрост, березняки, осинники.

Процесс устойчивого неистощительного лесопользования при естественном ходе лесовосстановительных процессов, поддержании его интенсивности на необходимом хозяйственном уровне не может быть успешно осуществлен без учета наличия имеющегося под пологом древостоев количества и качества хвойного подрост. Только строгий учет молодого хвойного поколения в древостоях, поступающих в рубку, и его последующая сохранность позволят значительно ускорить процесс естественного восстановления нужных лесов на вырубках, не прибегая к созданию лесных культур.

Известно, что у хвойных пород цикл возвращения лесных экосистем после рубки древостоя в условно исходное состояние длительный и часто осуществляется через смену пород. В то же время накопленный практический опыт лесоводов позволяет значительно сокращать период восстановления ельников, добиваться желаемых результатов, минуя смену пород. Однако этого результата можно добиться лишь при условии максимального сохранения во время рубки имеющегося под пологом хвойного возобновления. К необходимости его сохранения призывает также отсутствие во многих регионах страны доступных хвойных массивов, высокая себестоимость создания лесных культур. В свою очередь учет наличия подроста под пологом леса даст возможность разработать необходимую стратегию лесовосстановительных мероприятий на вырубках и понять роль подроста в повышении продуктивности лесов и интенсивности биологического круговорота в них. Данные мероприятия позволят добиться неистощимости лесопользования в целях получения высококачественной и дорогой древесины за короткий срок. Для науки появляется возможность проследить характер сукцессионных смен от вырубки до сформировавшегося древостоя, спрогнозировать результаты лесовосстановительных процессов в будущем [3]. Как показывает опыт [2], сформированные из подроста и тонкомера ельники растут в 2 раза быстрее лесных культур и обходятся государству в десятки раз дешевле. Поэтому становится вполне понятна заинтересованность предприятий-арендаторов лесных участков иметь необходимую информацию о количественном и качественном состоянии хвойного молодняка под пологом древостоев, отводимых в рубку.

Уровень сохранности хвойного подроста на вырубках таежной зоны в настоящее время является одним из приоритетных направлений ускоренного восстановления хвойных лесов, поскольку по ряду причин эффективность мероприятий искусственного лесовосстановления на вырубках остается еще достаточно низкой [5]. На севере Европейской части России под пологом хвойных спелых и перестойных лесов имеется около 64 % подроста ели, вполне достаточное количество для формирования будущего хвойного молодняка при условии качественного выполнения лесоводственных требований и технологии лесосечных работ при рубках [16]. В области лишь 30 % хвойных лесов восстанавливается искусственным путем посевом семян и посадкой сеянцев и саженцев. На 55 % вырубках лесовосстановление осуществляется путем сохранения подроста с применением специальных технологий валки и трелевки леса [15].

Проблема сохранения подроста затрагивает и мелколиственные леса, под пологом которых порой насчитывается до 100 тыс. экз. и более 1-2-летнего елового подроста [6, 12]. Еловый подрост под пологом мягколиственных лесов часто бывает таким же обычным явлением, как и под пологом хвойных. Об этом свидетельствуют материалы лесоустройства и специальные обследования древостоев IV–IX классов возраста [4, 11, 16–19].

Цель исследований – изучение структуры и анализ состояния молодого хвойного поколения в березняках и осинниках черничных таежной зоны Архангельской области.

Исследования проводили в березняках (*Betuletum myrtillosum*) и осинниках черничных (*Populetum myrtillosum*) разного возраста в северной и средней подзонах тайги. Полнота среднетаежных древостоев колебалась от 0,9 до 1,1, северотаежных – от 0,7 до 0,9. Участие в составе древостоев главной породы составляло 60...90%. Основным объектом исследования служил подрост ели (*Picea abies* Karst. (Pinacea)). Выполнение полевых работ при изучении процессов естественного лесовозобновления и обработку экспериментального материала осуществляли в соответствии с общими методами, принятыми в таксации и лесоводстве. Учет подростка проводили с использованием ОСТ 56-59–83 [13] и методических положений, принятых при изучении эколого-лесоводственных последствий постепенных рубок и лесовосстановительных мероприятий, содержащихся в Программе НИР по теме 3.1/1, разработанной во ВНИИЛМ и утвержденной МПР РФ в 2001 г. [7] по 30 круговым площадкам. Круговые площадки площадью по 10 м² и радиусом 1,78 м располагали равномерно по ранее заданным визирам в направлении с юга на север. Освещенность местообитания подростка измеряли на высоте 1,5 м с помощью двух люксметров Ю-116М по 35–40 постоянным точкам в околополуденные часы (13 ч) [1]. Основными критериями оценки качества лесовозобновления в древостоях были общая численность подростка и его жизненное состояние. Жизнеспособность подростка устанавливали по [8, 9]. Полученные данные обрабатывали методами математической статистики.

Результаты и обсуждение

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что в таежной лесорастительной зоне под пологом мелколиственных лесов имеется значительная численность подростка ели, которого вполне достаточно для успешного восстановления ельников при условии соблюдения необходимых лесоводственных требований и технологий при организации лесосечных работ при рубках. Состояние подростка ели под пологом березняков и осинников на севере и в средней части таежной зоны в целом удовлетворительное. На севере таежной зоны численность подростка ели под пологом березняков колеблется от 1,6 до 6,5 экз./га. В березняках средней подзоны тайги его присутствие более равномерное.

В осинниках больше всего подростка ели нами обнаружено в средней подзоне тайги. В зависимости от возраста насаждения его численность здесь колеблется от 0,94 до 4,50 тыс. экз./га. Неудовлетворительное возобновление ели (0,94 тыс. экз./га) наблюдается лишь под пологом 55-летнего осинника. Здесь оно связано с высокой задернелостью почвы, наличием плотного и густого травостоя из широколиственных видов, что препятствует появлению всходов.

Таблица 1

**Характеристика состояния лесовозобновления в березняках
и осинниках черничных**

Подзона тайги	Древостой		Количество подроста, тыс. экз./ га					Средние для ели	
	Возраст А, лет	Высота Н, м	Ель	Бере-за	Сос-на	Оси-на	Ито-го	возраст А, лет	высота В, м
Северная	<i>Березняки</i>								
	84	19,7	2,27	0,28	–	0,03	2,58	67	2,0
	92	20,8	1,54	0,25	0,02	0,22	2,03	76	2,7
	59	19,8	4,24	2,04	0,13	0,24	6,65	44	1,8
	73	16,8	6,51	0,61	–	0,24	7,36	43	2,3
	65	16,1	6,37	0,64	0,11	0,14	7,26	41	1,9
	42	17,1	3,60	0,12	0,09	0,06	3,87	33	1,2
	55	14,8	3,60	0,08	–	–	3,68	45	1,5
	60	15,3	1,56	0,24	–	–	1,80	33	1,3
	<i>Среднее</i>		3,71	0,54	0,09	0,16	4,40	48	1,8
	<i>Осинники</i>								
	70	16,5	1,79	–	–	0,44	2,23	39	1,4
	62	18,0	0,82	0,11	–	0,39	1,32	30	1,2
	60	17,5	0,88	0,12	–	–	1,00	28	1,4
	66	17,0	1,92	0,37	–	0,04	2,33	28	1,1
<i>Среднее</i>		1,35	0,20	–	0,29	1,72	31	1,3	
Средняя	<i>Березняки</i>								
	55	18,0	3,16	0,96	0,07	0,17	4,36	21	1,3
	60	19,2	3,04	0,23	–	0,17	3,44	30	1,5
	79	18,8	3,16	0,61	–	0,24	4,01	43	1,4
	86	20,6	2,91	–	–	0,28	3,19	57	1,5
	<i>Среднее</i>		3,07	0,60	0,07	0,22	3,75	38	1,4
	<i>Осинники</i>								
	55	23,4	0,94	–	–	0,02	0,96	33	1,7
	80	25,0	2,50	0,09	–	0,12	2,71	40	1,6
	60	20,0	4,28	0,11	–	–	4,39	25	1,2
	65	24,0	1,50	–	–	–	1,50	25	1,0
	62	21,7	4,50	0,17	–	0,36	5,03	23	0,9
	85	25,0	3,96	0,13	–	0,04	4,13	36	1,2
88	24,3	2,00	–	–	0,32	2,32	34	1,4	
<i>Среднее</i>		2,81	0,13	–	0,17	3,01	31	1,3	

Оценивая общее наличие подроста ели под пологом в обследованных насаждениях березы и осины, необходимо отметить, что доля елового подроста под пологом березняков значительно выше, чем под пологом осинников. В северотаежных березняках черничных на 1 га площади в среднем насчитывается до 3,7 тыс. экз. подроста ели, под пологом осинников черничных – около 1,4 тыс. экз. В насаждениях средней подзоны общая численность хвойного подроста примерно одинакова – 3,1 тыс. экз./га в березняках и 2,8 тыс. экз./га в осинниках.

В северной подзоне тайги под пологом березняков черничных преобладает крупный подрост ели, который через 2...3 года после выборочной рубки характеризуется интенсивным приростом по высоте. Это обеспечивает ему более ранний выход в основной полог по сравнению со средней подзоной. По мере продвижения с севера на юг общее число подрост ели под пологом березняков уменьшается, особенно заметно сокращается доля крупного подрост ели, доля мелкого подрост ели, напротив, несколько возрастает.

Численность хвойного подрост березняков северной подзоны выше, чем у березняков средней подзоны. Последнее в какой-то мере связано с разной полнотой, высотой и сомкнутостью древостоев, неодинаковой освещенностью внутри их. Например, в северотаежной подзоне в июле под полог 59-летнего березняка в околополуденные часы поступает от 9,0 до 14,3 тыс. лк. В средней подзоне в березовых древостоях такого возраста, в связи с их большой полнотой (1,0) и высотой (19,2 м), освещенность в это время не превышает 6,9 тыс. лк [8]. Существующая разница в освещенности определяет особенности жизненного состояния подрост ели и скорость его роста под пологом. В березняках северной подзоны, где света под полог проникает значительно больше, средняя высота елового подрост существенно больше: ((1,9±0,19) м – в северотаежной подзоне, (1,4±0,05) м – в среднетаежной). Существенность различий средних значений $t_{\text{факт}} = 2,7$.

Средний возраст подрост ели в березняках северной подзоны по сравнению с березняками средней подзоны больше на 10 лет: соответственно 48 и 38 лет. В осинниках подрост ели существенных различий между подзонами по основным показателям (возрасту, высоте) не обнаруживает, однако количественные различия его существенны ($t_{\text{факт}} = 2,3$). Характерной особенностью березняков Севера, в отличие от еловых древостоев [4], является более равномерное размещение в них хвойного молодняка.

Наличие в изучаемых насаждениях подрост сосны невысокое – менее 1 % от его общего числа. Присутствие в березняках подрост сосны объясняется налетом семян из пограничных с ними сосняков. Немногочисленные экземпляры этой светолюбивой породы в основном располагаются в прогалинах и окнах в пологе, где условия для ее выживания более благоприятные.

Участие лиственных пород в лесовозобновительном процессе березняков и осинников достаточно значительное. В северотаежных березняках доля лиственных пород в подрост составляет 16 %, в среднетаежных – 22 %, в осинниках соответственно – 28 и 10 %.

Основным представителем в подрост среди лиственных пород является береза, доля которой в подрост лиственных пород составляет 82 %. Больше всего подрост этой породы встречается в березняках. В них на 1 га иногда насчитывается до 2,0 тыс. экз. Присутствие этой породы в осинниках незначительное, не более 0,37 тыс. экз./га площади. Доля участия подрост осины в березняках не превышает 6 %. В осинниках участие осины в подрост превышает до 17 %. В березняках подрост этой породы иногда насчитывается

до 0,28 тыс. экз./га, в осинниках – до 0,44 тыс. экз./га. Согласно количественному учету формула подроста в березняках – 8Е2Б+Ос, в осинниках – 7Е2Ос1Б.

Оценивая состояние естественного возобновления ели под пологом изученных насаждений из березы и осины, можно отметить, что оно на данных возрастных этапах в березняках в целом протекает вполне успешно. Это позволяет считать подрост ели важным резервом для возможного последующего переформирования березовых насаждений после проведения выборочных рубок в елово-лиственные и еловые насаждения. Успешного переформирования осиновых насаждений в еловые вполне можно достичь и в среднетаежной подзоне. В осинниках северотаежной подзоны возобновление елью неудовлетворительное. Здесь на 1 га площади насаждения подрост ели содержится не более 1,3 тыс. экз. Такого количества ели в подросте явно недостаточно для восстановления коренных еловых древостоев.

В то же время жизненное состояние ели в анализируемых древостоях неудовлетворительное. Разноплановые физиологические исследования в них показали, что начиная с 15-летнего возраста березы и осины, состояние ели из-за недостатка света начинает постепенно ухудшаться. Для обеспечения сохранности ели уже с 25-летнего возраста березы необходимо проведение рубок ухода, с 50–55-летнего возраста – постепенных рубок [8–10].

Более детальная оценка состояния лесовозобновления нами была проведена в 59-летнем березняке черничном на севере таежной зоны. Оценивая естественное возобновление в древостое, можно отметить, что оно здесь, как и в других березняках черничных, протекает вполне удовлетворительно. На 1 га площади здесь обнаружено 6,7 тыс. экз. жизнеспособного подрост, среди которого 4,2 тыс. экз. 1–2-летних елей (табл. 2). Почти весь учтенный подрост (90 %) отнесен к категории благонадежного. Считается, что при такой численности подрост ели вполне возможна успешная трансформация насаждения в еловый древостой. Однако без антропогенного вмешательства эффективными лесоводственными мерами продолжительность процесса восстановления коренного елового древостоя здесь может затянуться на 150... 200 лет. Для улучшения роста и защиты ели от заморозков в виде примеси необходимо оставить небольшое количество березы.

Наличие подрост сосны – менее 3 % от общего числа, имеющегося в древостое. Немногочисленные экземпляры этой породы в основном встречаются в прогалинах и на местах вывала отдельных деревьев, где световые условия для их роста и выживания более благоприятные.

Участие березы и осины в лесообразовательном процессе древостоя высокое – более 35 %. Основным представителем в подросте из лиственных пород является береза. На ее долю в общем составе подрост приходится 31 %. Доля участия осины в составе подрост данного насаждения невысокая – около 4 %. Согласно количественному учету численности формула подрост в нетронутом рубкой насаждении 59-летнем березняке черничном представлена как 6ЕЗБ1С (рис. 1).

Таблица 2

Лесоводственная характеристика естественного лесовозобновления
в 59-летнем березняке черничном

Группа высот, м	Количество подроста, тыс. экз./га					Средний возраст ели, лет
	Ель	Сосна	Береза	Осина	Итого	
< 0,5	0,33	0,03	0,10	–	0,49	26
0,6...1,0	0,53	0,10	0,97	0,17	1,47	35
1,1...1,5	0,78	–	0,50	0,07	1,35	46
1,6...2,0	0,60	–	0,30	–	0,90	50
2,1...2,5	1,10	–	0,30	–	1,40	55
> 2,5	0,90	–	0,17	–	1,07	62
Всего	4,24	0,13	2,04	0,24	6,65	
Самосев	0,11	–	0,13	–	0,26	

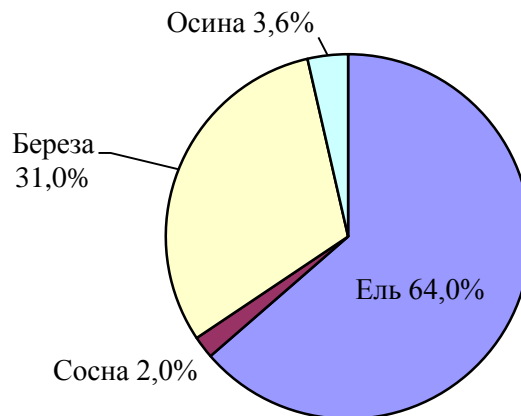


Рис. 1. Обеспеченность подростом 59-летнего березняка черничного в контрольной секции

Распределение молодого поколения в древостое относительно равномерное. Уровень участия в подросте ели достаточно высокий – 64 %. Подрост березы большей частью представлен отдельными экземплярами (по 2...4, реже 3...5 экз./га) и в большинстве случаев имеет порослевое происхождение, тяготеющее к окнам в пологе и к территориям с хорошей освещенностью.

Участие самосева в составе подроста невысокое. На 1 га имеется около 0,13 экз. самосева ели и примерно такое же количество самосева березы. Самосев других древесных пород отсутствует. Можно считать, что основной причиной задержки массового появления самосева в древостое является диспропорция между жизненными потребностями вновь появляющегося молодого поколения (самосева) и другими жизненно необходимыми для него экологическими факторами, постоянно ухудшающимися в результате роста и развития уже имеющегося подроста и материнского древостоя.

Известно, что возрастная структура подроста в древостоях формируется под воздействием множества факторов. Мозаичность живого напочвенного покрова, выраженность микрорельефа, неблагоприятные экологические условия налагают определенный отпечаток на возрастную структуру молодого поколения. В 59-летнем березняке черничном часто деревья одного возраста принадлежат к разным группам высот, различающимися на 1–3 категории, и, наоборот, в одной категории различия в возрасте ели часто достигают одного-двух классов. При высоте 0,5 м встречаются деревья, возраст которых варьирует от 15 до 40 лет, в группе высот 2,1...2,5 м – от 38 до 73 лет. Из приведенных данных видно, что у ели наибольшие различия в возрасте отмечены у мелкого подроста. В то же время, несмотря на высокую вариабельность, средний возраст молодого поколения ели в изучаемом древостое подчинен общей закономерности, характерной и для других типов леса.

По данным перечислительной таксации в указанном березняке весь имеющийся подрост ели нами был распределен на 3 возрастных ранга. Целесообразность такого деления была продиктована большой амплитудой возрастов между крайними значениями в каждой группе высот и различной активностью их роста. Ранговый статус деревьев в каждой группе высот определен путем распределения деревьев между предельными значениями возраста [14]. К первому рангу отнесены деревья с максимальными значениями возраста. Деревья этих ранговых статусов существенно (при вероятности более 0,95) различаются по возрасту и интенсивности роста в пределах перечисленных возрастных групп.

Как показали результаты анализов возрастного спектра подроста ели (рис. 2), для деревьев низкого возрастного ранга характерны относительно более компактные ряды распределения с небольшими отклонениями от средних значений в отдельных группах высот. Возрастное распределение деревьев высокого (I) и среднего (II) рангов оказалось в значительной степени зависимым от периода онтогенеза ели. Более позднему возобновлению ели соответствовали обычно более низкорослые деревья. Сравнительно молодые низкорослые (до 0,5 м) деревья ели под пологом 59-летнего березняка в основном представлены деревьями среднего (II) ранга (50 %). Во втором ярусе древостоя (деревья более 2,5 м) доминирующее положение занимают деревья высокого (I) ранга.

Среди подроста березы на долю крупного подроста приходится менее 40 % экземпляров. Жизнеспособный подрост осины в данном насаждении имеет высоту от 0,6 до 1,5 м.

Среди второго яруса имеются отдельные экземпляры подроста ели предварительных генераций, сохранившиеся после вырубki древостоя. Отмечаемая значительная амплитуда возраста ели могла быть обусловлена разными периодами ее возобновления на вырубке.

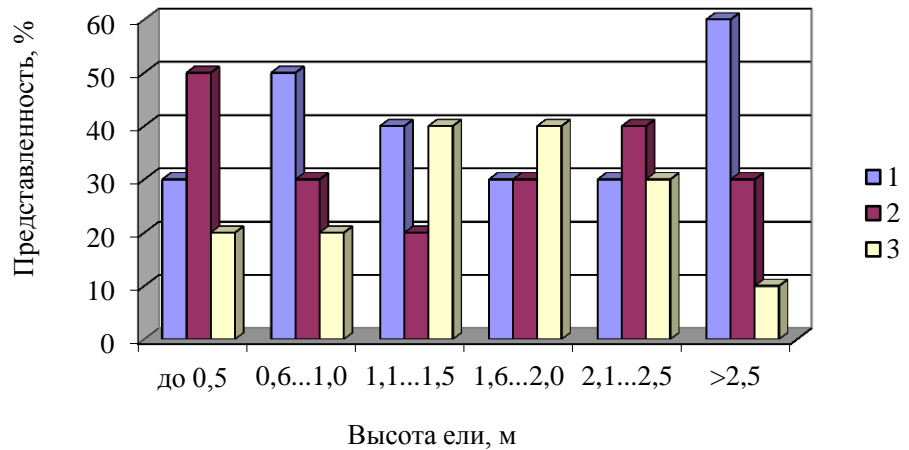


Рис. 2. Возрастное распределение подроста ели разного ранга в группах высот в 59-летнем березняке черничном: 1 – деревья I ранга, 2 – II ранга, 3 – III ранга

Ель, образующая второй ярус, появилась в среднем на 5...15 лет раньше, чем основная масса ее подроста. В основном этот ярус представлен деревьями предварительной генерации, сохранившимися во время рубки. Средний возраст ели второго яруса – 62 лет. Однако среди этой возрастной категории ели имеются деревья, возраст которых 70...75 лет и относительно молодые – 50...55 лет. Под пологом изучаемого 59-летнего березняка в основном преобладает ель (59 %) в возрасте 35...55 лет. Деревья младшего (15...35 лет) и старшего (55...75 лет) возраста представлены в одинаковом соотношении.

Подрост ели заметно отличается и по категориям жизнеспособности. Средняя категория жизнеспособности ели в древостое – 3,6 (табл. 3). Доминирующее положение занимают деревья 4-й категории, их более 57 %. Количество наиболее здоровых и жизнеспособных деревьев (5- и 6-й категорий) не превышает 10 %. Погибшие деревья составляют менее 2 % от общей численности.

Доля здоровых деревьев ели в данном насаждении постепенно возрастает с увеличением их высоты и среднего возраста. Более отчетливо эта связь проявляется у растений 4-й категории, среди которых на долю крупного подроста приходится более 72 %.

В соответствии с принятой классификацией (по соотношению приростов главных и боковых побегов) наименее жизнеспособными в древостое являются мелкие категории подроста (высотой до 1,0 м). Среди них к средним и высшим категориям жизнеспособности (4-ая категория и выше) отнесено менее 50 %. Усохшие деревья имеют высоту до 1,5 м. Неблагонадежный подрост составляет около 10 % от общего количества, имеющегося в древостое. Самосев ели (при высоте 2...4 см) отнесен к высшей категории жизнеспособности и считается вполне жизнеспособным для участия в лесовозобновительном процессе при улучшении условий для его роста.

Таблица 3

**Жизненное состояние подроста ели
в 59-летнем березняке черничном (тыс. экз./га)**

Группа высот, м	Распределение подроста по категориям жизнеспособности							
	6	5	4	3	2	1	0,1	Итого
До 0,5	–	0,07	0,13	0,10	0,03	–	–	0,33
0,6...1,0	–	–	0,27	0,20	0,03	0,03	–	0,53
1,1...1,5	–	0,03	0,27	0,17	0,17	0,07	0,07	0,78
1,6...2,0	–	–	0,47	0,10	0,03	–	–	0,60
2,1...2,5	0,03	0,10	0,70	0,13	0,07	0,07	–	1,10
>2,5	0,03	0,10	0,60	0,10	0,07	–	–	0,90
Всего	0,06	0,30	2,44	0,80	0,40	0,17	0,07	4,24
Самосев	0,013	–	–	–	–	–	–	0,13

Подрост сосны в древостое характеризуется 3-й категорией жизнеспособности. Его представляют низкорослые угнетенные экземпляры с разреженной сквозистой кроной, сомнительные и ненадежные в жизненном отношении.

Основное число подроста березы среди имеющегося в насаждении количества отнесено к 4-й категории жизнеспособности (78 %), 5-й и 6-й категориям соответствуют 22 % деревьев.

Подрост осины в древостое представлен отдельными экземплярами, тяготеющими к прогалинам и окнам в пологе. Большинство их соответствует 4-й категории жизнеспособности и лишь отдельные экземпляры отнесены к более высоким категориям.

Выводы

1. Наличие хвойного подроста под пологом северотаежных березняков черничных оценивается как удовлетворительное. На 1 га площади древостоев здесь в среднем насчитывается до 3,7 тыс. экз. подроста ели, которого вполне достаточно для успешного переформирования этих древостоев в елово-лиственные или еловые насаждения. Успешного переформирования в еловые древостои можно достичь и в осиновых древостоях средней подзоны, в которых на 1 га имеется 2,8 тыс. экз. ели.

2. В древостоях средней подзоны тайги численность находящегося под их пологом хвойного подроста примерно – 3,1 тыс. экз./га в березняках, 2,8 тыс. экз./га – в осинниках. Доля лиственных пород в подросте мелколиственных лесов региона в среднем составляет 16 %.

3. Жизненное состояние ели в анализируемых древостоях неудовлетворительное. Оно может быть существенно улучшено лесоводственными методами при соблюдении необходимых требований и технологий организации лесосечных работ.

4. В северной подзоне тайги под пологом березняков и осинников преобладает крупный подрост ели, который через 2...3 года после постепенной рубки характеризуется интенсивным приростом по высоте. Это обеспечивает ему более ранний выход в основной полог по сравнению со средней подзоной.

5. Средний возраст ели в березняках северной подзоны на 10 лет выше, чем в средней подзоне (соответственно 48 и 38 лет). В осинниках существенных различий в возрасте у подростка ели между подзонами не выявлено.

6. Березняки черничные северной подзоны отличаются от березняков средней подзоны более высоким содержанием хвойного подростка, что объясняется более низкой полнотой и сомкнутостью верхнего полога древостоев, повышенной освещенностью внутри их.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 227 с.
2. *Алексеев П.В.* Чересполосно-пасечные комплексные рубки в березняках // Лесн. пром-сть. 1992. № 2. С. 17–18.
3. *Беляева Н.В., Грязькин А.В.* Трансформация структуры молодого поколения ели после проведения несплошных рубок // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 44–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Вялых Н.И., Анисеева В.А., Засухин Д.П., Серый В.С., Коновалов В.Н.* Естественное лесовозобновление на вырубках еловых лесов северной подзоны тайги // Лесоводственно-экономические вопросы воспроизводства лесных ресурсов Европейского Севера: сб. науч. тр. Архангельск: СевНИИЛХ, 2000. С. 61–73.
5. *Грязькин А.В.* Возобновительный потенциал таежных лесов (На примере ельников Северо-Запада России). СПбГЛТА, 2001. 188 с.
6. *Дмитриева Е.В.* Ельники северо-западной части Карельского перешейка // Лесоведение. 1973. № 2. С. 51–64.
7. *Желдак В.И.* Программа НИР по теме 3.1/1 «Разработка экологически безопасных и экологически эффективных региональных систем ведения лесного хозяйства и технологий, обеспечивающих повышение продуктивности и устойчивости лесов». Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 79 с.
8. *Зарубина Л.В.* Эколого-биологические особенности постепенных рубок в березняках черничных северной подзоны тайги: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2004. 19 с.
9. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Эколого-физиологические особенности ели в березняках черничных. Архангельск: ИД САФУ, 2014. 378 с.
10. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-биологические особенности подростка ели в мелколиственных лесах таежной зоны // Наука – Северному региону: сб. науч. тр. Архангельск: АГТУ, 2002. С. 91–96.
11. *Мелехов И.С.* Рубки главного пользования. М.: Гослесбумиздат, 1962. 329 с.
12. *Орлов А.Я., Серяков А.Д.* Формирование еловых древостоев из подростка на вырубках мелколиственных лесов // Лесн. хоз-во. 1991. № 1. С. 21–25.
13. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1984-01-01. М., 1984. 60 с.
14. *Рубцов М.В., Дерюгин А.А.* Закономерности роста ели под пологом березняков в онтогенезе древостоев // Лесоведение. 2002. № 5. С. 18–25.
15. *Трубин Д.В.* Ведение лесного хозяйства на Европейском Севере России // Лесовосстановление на Европейском Севере (Материалы финско-российского семинара по лесовосстановлению – Бюл. НИИ леса). Финляндия, Вуокатти, 28.9 – 2.10. 1998. Финляндия, 2000. С. 25–31.

16. Трубин Д.В., Третьяков С.В., Контев С.В. Динамика и перспективы лесопользования в Архангельской области. Архангельск: АГТУ, 2000. 96 с.

17. Чибисов Г.А., Ипатов Л.Ф. Формирование молодых лесов и пути улучшения их породного состава // Леса и лесное хозяйство Вологодской области. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. С. 128–147.

18. Чупров Н.П. О роли подроста ели в формировании елово-березовых насаждений // Лесн. хоз-во. 1963. № 5. С. 7–9.

19. Чупров Н.П. Березняки Европейского Севера России. Архангельск: СевНИИЛХ, 2008. 386 с.

Поступила 04.02.15

UDC 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52

Natural Regeneration of Spruce in the Small-Leaved Forests in the North of Russia

L.V. Zarubina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin,
Schmidt str., 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation;
e-mail: Liliva270975@yandex.ru

The paper presents the issues of natural regeneration under the canopy of the small-leaved forests in the North of the European part of Russia. The study was conducted in the bilberry birch and aspen forests of different age. The natural spruce regeneration in the North under the canopy of small-leaved forests runs in a prosperous groove. Something like 4.4 thousand ind./ha of undergrowth are under the canopy of the birch forests. Among the total number there are more than 3 thousand ind./ha of spruce undergrowth that is enough to restore the spruce forests due to the silvicultural requirements and technologies in the logging operations. The spruce undergrowth in the aspen forests is mostly located in the mid-taiga subzone (an average of 2.8 thousand ind./ha), which is also sufficient for their reformation in the hardwood spruce and spruce plantations. Spruce reforestation in the aspen forests in the Northern taiga subzone is unsatisfactory. No more than 1 thousand ind./ha of young spruce and about 0.6 ind./ha of birch are observed here. The state of the spruce undergrowth under the canopy of the birch and aspen forests is unsatisfactory, but it can be improved by selective and gradual felling. The total number of spruce undergrowth and especially the share of large undergrowth under the canopy of small-leaved forests decrease from north to south, and the share of small young growth increases. The birch forests of the northern subzone differ from the middle subzone by high content of undergrowth under the canopy. The average age and height of the spruce undergrowth in the bilberry birch forests of the northern subzone compared to the middle subzone is 10 years elder; they are 48 and 38 years, and 2.5 and 1.4 m, respectively. The share of broadleaved species in the reforestation process of the birch and aspen forests ranges from 10 to 28 %. The main representative in the undergrowth is birch (82 %). The share of aspen in the young growth in the birch forests does not exceed 6 %, in the aspen forests it rises up to 17 %.

Keywords: reforestation, undergrowth, birch forest, aspen forest.

REFERENCES

1. Alekseev V.A. *Svetovoy rezhim lesa* [Forest Light Status]. Leningrad, 1975. 227 p.
2. Alekseev P.V. Cherespolosno-pasechnyye kompleksnyye rubki v bereznyakakh [Alternate Strip Felling and Strip Complex Felling in the Birch Forests]. *Lesnaya promyshlennost'*, 1992, no. 2, pp. 17–18.
3. Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V. Transformatsiya struktury mladogo pokoleniya eli posle provedeniya nesploshnykh rubok [Structure Transformation of the Spruce Young Generation After Selective Cutting]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 6, pp. 44–51.
4. Vyalykh N.I., Anikeeva V.A., Zasukhin D.P., Seryy V.S., Konovalov V.N. Estestvennoe lesovozobnovlenie na vyrubkakh elovykh lesov severnoy podzony taygi [Natural Regeneration in the Felling of the Spruce Forests of the Northern Subzone of Taiga]. *Lesovodstvenno-ekonomicheskie voprosy vosproizvodstva lesnykh resursov Evropeyskogo Severa* [Silvicultural and Economic Issues of Reproduction of Forest Resources of the European North]. Arkhangelsk, 2000, pp. 61–73.
5. Gryaz'kin A.V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov (Na primere el'nikov Severo-Zapada Rossii)* [Regeneration Potential of Taiga Forests (as Exemplified by the Spruce Forests of the North-West of Russia)]. Saint Petersburg State Forest Technical Academy, 2001. 188 p.
6. Dmitrieva E.V. El'niki severo-zapadnoy chasti Karelskogo peresheyka [Spruce Forests of the North-Western Part of the Karelian Isthmus]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1973, no. 2, pp. 51–64.
7. Zheldak V.I. *Programma NIR po teme 3.1/1 "Razrabotka ekologicheski bezopasnykh i ekologicheski effektivnykh regional'nykh sistem vedeniya lesnogo khozyaystva i tekhnologii, obespechivayushchikh povyshenie produktivnosti i ustoychivosti lesov"* [The R&D Program on the Topic 3.1/1 "Development of the Environmentally Friendly and Environmentally Effective Regional Systems of Forest Management and Technologies to Increase the Productivity and Sustainability of Forests"]. Pushkino, 2001. 79 p.
8. Zarubina L.V. *Ekologo-biologicheskie osobennosti postepennykh rubok v bereznyakakh chernichnykh severnoy podzony taygi: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Ecological and Biological Characteristics of the Gradual Felling in the Bilberry Birch Forests of the Northern Taiga Subzone: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Bryansk, 2004. 19 p.
9. Zarubina L.V., Konovalov V.N. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti eli v bereznyakakh chernichnykh* [Ecological and Physiological Characteristics of Spruce in the Bilberry Birch Forests]. Arkhangelsk, 2014. 378 p.
10. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-biologicheskie osobennosti podrosta eli v melkolistvennykh lesakh taezhnoy zony* [Ecological and Biological Features of Young Spruce in the Small-Leaved Forests of the Taiga Zone]. *Nauka – Severnomu regionu* [Science for the Northern Region]. Arkhangelsk, 2002, pp. 91–96.
11. Melekhov I.S. *Rubki glavnogo pol'zovaniya* [Final Felling Operations]. Moscow, 1962. 329 p.
12. Orlov A.Ya., Seryakov A.D. Formirovanie elovykh drevostoev iz podrosta na vyrubkakh melkolistvennykh lesov [Formation of Spruce Stands from the Undergrowth in the Felling of the Small-Leaved Forests]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1991, no. 1, pp. 21–25.
13. *OST 56-69-83. Ploshchadi probnyye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69-83. Sampling Areas of Forest Management. The Establishment Method]. Moscow, 1984. 60 p.

14. Rubtsov M.V., Deryugin A.A. Zakonomernosti rosta eli pod pologom bereznyakov v ontogeneze drevostoev [Patterns of Spruce Growth Under the Canopy of the Birch Forests in the Stand Ontogenesis]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2002, no. 5, pp. 18–25.

15. Trubin D.V. Vedenie lesnogo khozyaystva na Evropeyskom Severe Rossii [Forest Management in the European North of Russia]. *Lesovosstanovlenie na Evropeyskom Severe (Materialy finsko-rossiyskogo seminaru po lesovosstanovleniyu). Finlyandiya, Vuokatti, 28.09 – 02.10.1998* [Reforestation in the European North (Proc. Finnish-Russian Seminar on Reforestation. Finland, Vuokatti, 28.09. – 02.10.1998)]. Finland, 2000, pp. 25–31.

16. Trubin D.V., Tret'yakov S.V., Koptev S.V. *Dinamika i perspektivy lesopol'zovaniya v Arkhangel'skoy oblasti* [Dynamics and Prospects of the Forest Management in Arkhangelsk Region]. Arkhangelsk, 2000. 96 p.

17. Chibisov G.A., Ipatov L.F. Formirovanie molodykh lesov i puti uluchsheniya ikh porodnogo sostava [Formation of the Young Forests and the Approaches of Improvement of Their Species Composition]. *Lesy i lesnoe khozyaystvo Vologodskoy oblasti* [Forests and the Forestry in Vologda Region]. Vologda, 1971, pp. 128–147.

18. Chuprov N.P. O roli podrosta eli v formirovanii elovo-berezovykh nasazhdeniy [On the Role of Young Spruce in the Formation of Spruce and Birch Stands]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1963, no. 5, pp. 7–9.

19. Chuprov N.P. *Bereznyaki Evropeyskogo Severa Rossii* [Birch Forests of the European North of Russia]. Arkhangelsk, 2008. 386 p.

Received on February 04, 2015

УДК 57.034 + 630*561.21 + 633.878.31
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.66

ЦИКЛИЧНОСТЬ СРЕДНЕСУТОЧНОГО РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА НЕСУЩИХ ПОБЕГОВ ИВЫ БЕЛОЙ (*SALIX ALBA* L.) В УСЛОВИЯХ БРЯНСКОГО ЛЕСНОГО МАССИВА

А.А. Афонин, д-р с.-х. наук, доц.

С.А. Зайцев, асп.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, ул. Бе-
жицкая, д. 14, г. Брянск, Россия, 241036; e-mail: afonin.salix@gmail.com

Обоснована актуальность и дана краткая характеристика современного состояния про-
блемы изучения цикличности среднесуточного радиального прироста несущих побегов
ивы белой (*Salix alba* L.). На примере одновозрастного генетически выровненного мате-
риала, выращенного в однородных условиях, показано, что в цикличности среднесуточ-
ного радиального прироста несущих побегов ивы белой существуют определенные за-
кономерности. Описан процесс синтеза объекта исследования – аутбредной семьи ивы
белой. Предложена методика изучения исходных данных и построения выровненных
эмпирических рядов динамики среднесуточного радиального прироста. Каждый эмпи-
рический ряд рассматривается как реализация случайной функции. Предложен алго-
ритм расчета математических ожиданий случайных функций, основанный на суммиро-
вании трендовых и циклических компонент. Изложены результаты собственных иссле-
дований ритмичности среднесуточного радиального прироста разновозрастных несущих
побегов. Описано два основных типа эмпирических рядов динамики среднесуточ-
ного радиального прироста: I тип характеризуется отчетливо выраженным периодом
среднегодного относительного покоя без предшествующего локального максимума;
II тип отличается наличием локального максимума среднесуточного радиального при-
роста перед среднегодным минимумом. Проанализирована структура математических
ожиданий случайных функций. Установлено, что последовательное введение цикличе-
ских компонент повышает надежность аппроксимации эмпирических рядов. Цикличе-
ские компоненты различаются по ряду параметров, в первую очередь, по продолжи-
тельности периода, в меньшей степени – по амплитуде. Выявлены длинно- и коротко-
периодические циклические компоненты математических ожиданий случайных функ-
ций. Показано, что основной вклад в динамику среднесуточного радиального прироста
вносят длиннопериодические циклические компоненты (в большинстве случаев про-
должительность периодов составляет 48...54 сут). Длиннопериодические циклические
компоненты характеризуют побеговую систему особи в целом, короткопериодические –
разновозрастные побеги в пределах побеговых систем. Вклад короткопериодических
циклических компонент (продолжительность периодов 13...36 сут) в общую динамику
среднесуточного радиального прироста определяется их интерференцией. Локальные
экстремумы эмпирических рядов динамики определяются сочетаниями дополнитель-
ных эндогенных ритмов с различными периодичностью и амплитудой. Циклические
компоненты случайных функций рассматриваются как генетические программы морфо-
генеза. Выявлено влияние индивидуальных особенностей растений на общую динамику
среднесуточного радиального прироста несущих побегов.

Ключевые слова: ива белая, несущие побеги, радиальный прирост, суточный прирост,
эндогенные биоритмы, циклические компоненты.

Ива белая (*Salix alba* L.) – широко распространенный представитель древовидных ив средней полосы России. Природные популяции ивы белой на территории Брянского лесного массива характеризуются высоким уровнем гетерогенности по морфологическим признакам, что дает возможность использовать их в качестве источника материала для селекции на устойчивость и продуктивность [1]. Продуктивность ивы белой определяется в основном радиальным приростом многолетних побегов. В классических [9] исследованиях морфогенеза побегов древесных растений выявлено два пика максимального прироста: ранне- и позднелетний, что подтверждается нашими исследованиями [2]. Однако в ряде случаев сезонная динамика нарастания побегов носит полициклический характер [11, 12]. На примере ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm. = *Salix gmelinii* Pall.) нами [3] было показано, что динамика линейного прироста однолетних побегов определяется в первую очередь эндогенными факторами. Это положение не противоречит данным, полученным другими исследователями хронобиологии древесных растений [6, 7, 13–15]. Нами проведен сравнительный анализ сезонной динамики радиального прироста нарастания побегов в целях выявления эндогенных ритмов в онтогенезе ивы белой.

Материал и методика исследования

В качестве исходного генетического материала (F_0) использовали высокопродуктивных представителей двух семей *S. alba*, которые были заложены в 2003 г. путем посева семян, собранных с маточных деревьев, имеющих типичные видовые признаки *S. Alba* и произрастающих в однотипных ивниках (*Salicetum albae* Issl. (1924) 1926) поймы р. Десны на территории Брянского лесного массива. Путем гибридизации наиболее продуктивных представителей исходных семей в 2008 г. была получена аутбредная семья *S. alba* (F_1). Наиболее продуктивные сеянцы из этой семьи (*al* 01... *al* 10) выращивали в салицетуме Брянского государственного университета в 2009–2012 гг. Расположение – по гексагональной схеме с расстоянием между посадочными местами 2 м. Ранее [4, 5] нами была дана подробная характеристика данной семьи. Для окончательного анализа использовались наиболее продуктивные сеянцы: *al* 03, *al* 04, *al* 06, *al* 07, *al* 08.

В качестве материала использовали несущие побеги, сформировавшиеся в 2010 г. и 2011 г. Исходные данные были получены в течение сезона 2012 г. За дату начала вегетации было принята 01.05.12, за дату окончания – 01.09.12 (продолжительность сезона $t_{\max} = 124$ дн.). Каждые 5...6 сут с точностью $\pm 0,1$ мм измеряли диаметры несущих побегов ($d_{\text{факт}}$, мм) на расстоянии 20 см от их оснований. Радиус побегов ($r_{\text{факт}}$, мм) вычисляли путем деления диаметра на 2.

Фактический текущий среднесуточный радиальный прирост ($\Delta r_{\text{факт}}$, мм/сут) для расчетного дня t рассчитывали по следующей формуле:

$$\Delta r_{\text{факт}}(t) = (r_{k+1} - r_{k-1})(t_{k+1} - t_{k-1}),$$

где $r_{\text{факт}}$ – фактический текущий радиус несущего побега в фактические дни наблюдений (t_{k+1}) и (t_{k-1}) , соответствующие порядковым номерам наблюдений $(k - 1)$ и $(k + 1)$, мм;

t – порядковый день вегетационного периода.

Данная методика обеспечивает выравнивание эмпирических рядов методом скользящей средней по трем точкам.

Эмпирические ряды динамики $\Delta r_{\text{факт}}(t)$ рассматривали как реализации случайных функций, описывающих динамику среднесуточного радиального прироста [8]:

$$\Delta R(t) = \varphi(t) + \varepsilon,$$

где $\varphi(t)$ – математические ожидания Δr при заданных значениях расчетного дня наблюдений t ;

ε – случайное отклонение $\Delta r_{\text{факт}}$ от математического ожидания.

Математические ожидания $\varphi(t)$ случайных функций рассматривали как суммы:

$$\varphi(t) = \Delta r_{\text{ср}} + f(t) + \omega_1(t) + \dots + \omega_n(t),$$

где $\Delta r_{\text{ср}}$ – средний среднесуточный прирост на протяжении сезона, мм;

$f(t)$ – трендовая компонента отклонений $\Delta r_{\text{факт}}$ от $\Delta r_{\text{ср}}$;

$\omega_1(t) + \dots + \omega_n(t)$ – циклические компоненты отклонений $\Delta r_{\text{факт}}$ от $\Delta r_{\text{ср}}$.

Для аппроксимации динамики долговременного отклонения $\Delta r_{\text{факт}}$ от $\Delta r_{\text{ср}}$ использовали полином 3-й степени:

$$f(t) = a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0,$$

где a_3, a_2, a_1, a_0 – эмпирические коэффициенты.

Циклические компоненты (ЦК) рассматривали как синусоиды $\omega_1(t) + \dots + \omega_n(t)$:

$$\omega(t) = b_1 \cdot \sin(tb_2 + b_3),$$

где b_1, b_2, b_3 – эмпирические коэффициенты, характеризующие соответственно амплитуду синусоиды, длину волны и смещение по фазе.

Эмпирические коэффициенты вычисляли итерационным методом до тех пор, пока сумма квадратов отклонений SS не достигала минимума.

Достоверность аппроксимации эмпирических рядов определяли, используя F -критерий Фишера:

$$F = [SS_{\text{общ}} \div v_1] \div [SS_{\text{ост}} \div v_2],$$

где SS – сумма квадратов отклонений;

v_1 и v_2 – число степеней свободы для n числа наблюдений, $v_1 = n - 1$;

$v_2 = n - 2$.

Период колебаний $(T_1 \dots T_n, \text{сут})$ для каждой синусоиды вычисляли как разность между значениями t , соответствующими смежным максимумам синусоид. Путем деления $t_{\text{max}} = 124$ на T вычисляли число периодов NF .

Математические ожидания для каждого ряда динамики радиального прироста побегов рассчитывали по алгоритму, разработанному нами для данного исследования. При разработке алгоритма применяли процедуры, принятые для обработки эмпирических статистических рядов [10]; вычисления производили с использованием MS Excel:

1. Вычисление $\Delta r_{\text{факт}}$ – фактического текущего среднесуточного радиального прироста.

2. Вычисление $\Delta r_{\text{ср}}$ – среднегодового среднесуточного радиального прироста.

3. Расчет d_1 – отклонений текущего среднесуточного прироста от среднегодового среднесуточного радиального прироста, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

4. Расчет коэффициентов и табулирование полинома 3-й степени $f(t)$ – долговременного тренда для отклонений d_1 .

5. Расчет d_2 – отклонений вычисленных отклонений d_1 от ожидаемых значений этих отклонений, рассчитанных по уравнению $f(t)$, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

6. Расчет коэффициентов и табулирование первой ЦК – $\omega_1(t)$.

7. Расчет d_3 – отклонений вычисленных отклонений d_2 от ожидаемых значений этих отклонений, рассчитанных по уравнению $\omega_1(t)$, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

8. Расчет коэффициентов и табулирование второй ЦК – $\omega_2(t)$.

9. Расчет d_4 – отклонений вычисленных отклонений d_3 от ожидаемых значений этих отклонений, рассчитанных по уравнению $\omega_2(t)$, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

10. Расчет коэффициентов и табулирование третьей ЦК – $\omega_3(t)$.

11. Расчет d_5 – отклонений вычисленных отклонений d_4 от ожидаемых значений этих отклонений, рассчитанных по уравнению $\omega_3(t)$, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

12. Расчет коэффициентов и табулирование четвертой ЦК – $\omega_4(t)$.

13. Расчет $\varepsilon(t)$ – остаточных отклонений от ожидаемых значений этих отклонений, рассчитанных по уравнению $\omega_4(t)$, соответствующих сумм квадратов отклонений SS и F -критерия.

14. Расчет математического ожидания случайной функции путем суммирования всех компонент:

$$\varphi(t) = \Delta r_{\text{ср}} + f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \omega_3(t) + \omega_4(t).$$

Результаты и обсуждение

Сравнение эмпирических рядов динамики среднесуточного радиального прироста Δr позволило разделить их на два основных типа: I тип характеризуется отчетливо выраженным периодом среднелетнего относительного покоя; данный тип характерен для обоих побегов сеянца *al 3* (с 21...26 июня до середины июля происходит монотонное снижение Δr); II тип отличается наличием локального максимума Δr в начале июля, после чего опять наблюдается минимум Δr в середине июля. Данный тип выявлен для обоих побегов сеянцев *al 4* и *al 8*. У остальных сеянцев (*al 6* и *al 7*) побеги 2010 г. характеризуются I типом ритмов развития, побеги 2011 г. – II типом.

Вычисленные значения F -критерия, отражающие адекватность различных уровней аппроксимации эмпирических рядов динамики Δr , приведены в табл. 1 (дополнительно приведены значения общей и остаточной сумм квадратов отклонений от среднегодового значения Δr). За исключением одного случая (побег 2011 г. *al 08*) динамика отклонений d_1 достоверно описывается полиномом 3-й степени (одновершинной кривой). Последовательное введение ЦК повышает достоверность аппроксимации. Начиная с третьей ЦК, аппроксимация всех эмпирических рядов становится достоверной на высшем уровне значимости ($P < 0,001$). Таким образом, введение циклических компонент позволяет выявить ритмичность радиального прироста побегов с высокой надежностью.

Таблица 1

**Адекватность уровней аппроксимации эмпирических рядов
динамики среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой**

Суммы квадратов отклонений и компоненты математического ожидания	Сеянцы				
	<i>al 03</i>	<i>al 04</i>	<i>al 06</i>	<i>al 07</i>	<i>al 08</i>
<i>Побеги 2010 г.</i>					
Суммы квадратов отклонений:					
$SS d_1$	0,0170	0,0243	0,0114	0,0142	0,0068
$SS \varepsilon(t)$	0,0006	0,0016	0,0002	0,0009	0,0001
Расчетный F -критерий:					
$f(t)$	4,23	2,71	2,47	3,42	2,49
$f(t) + \omega_1(t)$	6,64	3,69	4,08	3,76	3,45
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t)$	11,38	4,51	4,98	5,87	12,65
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \omega_3(t)$	20,42	7,58	18,97	9,57	33,13
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \omega_3(t) + \omega_4(t)$	26,59	14,52	57,27	14,89	44,13
<i>Побеги 2011 г.</i>					
Суммы квадратов отклонений:					
$SS d_1$	0,0082	0,0187	0,0101	0,0177	0,0038
$SS \varepsilon(t)$	0,0003	0,0009	0,0008	0,0008	0,0003
Расчетный F -критерий:					
$f(t)$	4,10	4,05	2,25	6,38	1,26
$f(t) + \omega_1(t)$	9,63	4,61	2,83	6,85	1,35
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t)$	13,65	8,62	5,06	7,84	1,96
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \omega_3(t)$	21,50	10,52	8,41	10,47	6,25
$f(t) + \omega_1(t) + \omega_2(t) + \omega_3(t) + \omega_4(t)$	29,62	20,13	12,30	21,80	10,44

Примечание. $SS d_1$ – общая сумма квадратов отклонений; $SS \varepsilon(t)$ – остаточная сумма квадратов отклонений; $f(t)$ – полином 3-й степени; $\omega_1(t) \dots \omega_4(t)$ – циклические компоненты; $F_{0,100} = 1,8$; $F_{0,010} = 2,9$; $F_{0,001} = 4,4$.

В табл. 2 приведены параметры ЦК математических ожиданий Δr .

Таблица 2

**Параметры циклических компонент математических ожиданий
среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой**

Сеянец	Параметр	Год формирования побегов							
		2010 г.				2011 г.			
		$\omega_1(t)$	$\omega_2(t)$	$\omega_3(t)$	$\omega_4(t)$	$\omega_1(t)$	$\omega_2(t)$	$\omega_3(t)$	$\omega_4(t)$
<i>al 3</i>	b_1	0,012	0,010	0,006	0,004	0,010	0,005	0,004	0,003
	b_2	8,0	4,8	2,9	2,1	7,9	5,0	4,1	2,0
	b_3	2,0	1,6	2,8	0,6	2,0	3,0	4,8	3,4
	T	49	31	18	13	49	32	26	13
	NF	2,5	4,0	6,9	9,5	2,5	3,9	4,8	9,5
<i>al 4</i>	b_1	0,010	0,010	0,014	0,012	0,009	0,013	0,006	0,009
	b_2	8,7	5,1	3,4	2,7	8,4	5,5	3,9	3,0
	b_3	3,5	2,6	0,2	0,7	3,5	4,0	2,6	4,2
	T	54	33	21	17	53	35	25	18
	NF	2,3	3,8	5,9	7,3	2,3	3,5	5,0	6,9
<i>al 6</i>	b_1	0,013	0,007	0,012	0,006	0,010	0,012	0,004	0,006
	b_2	7,6	5,5	4,2	2,9	8,0	3,6	2,8	2,4
	b_3	2,4	4,8	6,0	4,2	3,0	1,0	1,4	5,7
	T	48	35	26	18	50	23	18	14
	NF	2,6	3,5	4,8	6,9	2,5	5,4	6,9	8,9
<i>al 7</i>	b_1	0,009	0,010	0,008	0,007	0,004	0,005	0,007	0,010
	b_2	10,0	5,4	4,5	2,5	10,2	5,7	2,7	2,3
	b_3	1,8	4,2	1,0	6,7	1,8	5,0	0,9	3,7
	T	63	31	28	16	61	36	17	14
	NF	2,0	4,0	4,4	7,8	2,0	3,4	7,3	8,9
<i>al 8</i>	b_1	0,010	0,011	0,004	0,002	0,006	0,011	0,010	0,005
	b_2	7,6	3,1	2,5	2,1	8,5	5,2	3,3	2,4
	b_3	2,0	4,4	5,4	6,4	3,0	2,1	0,0	4,9
	T	48	20	16	13	54	32	21	15
	NF	2,6	6,2	7,8	9,5	2,3	3,9	5,9	8,3

Сравнение параметров ЦК позволяет выявить длиннопериодические (у большинства сеянцев $T = 48 \dots 54$ сут, у сеянца *al 07* – $61 \dots 63$ сут) и короткопериодические ($T = 13 \dots 36$ сут) ритмы. Длительным периодом колебаний характеризуется первая ЦК, для этой же компоненты характерна высокая амплитуда:

$b_{1cp} = 0,010$ (от 0,004 до 0,013). Последующие ЦК – короткопериодические, их амплитуда варьирует в широких пределах: от 0,003 до 0,014 ($b_{1cp} = 0,008$). Сравнение средних значений амплитуд b_1 длинно- и короткопериодических ритмов показывает, что именно первая ЦК вносит основной вклад в динамику Δr . Вклад последующих ЦК определяется их суммированием (интерференцией).

Первая ЦК позволяет выявить у большинства сеянцев два периода интенсивного радиального прироста: весенне-летний (25.05–30.06) и позднелетний (15.07–15.08), разделенные периодом относительного покоя (20.06–25.07). Для побегов *al* 07 первая ЦК позволила выявить три периода интенсивного радиального прироста: весенний (до 15.05), средне- (15.06–15.07) и позднелетний (после 15.08).

Последующие ЦК были сгруппированы по параметрам T и NF .

Вторые ЦК образуют два кластера с периодами $T_{cp} = 33$ (31...36) сут и $T_{cp} = 21$ (20...23) сут. К первому кластеру относится большинство вторых ЦК, ко второму – побеги *al* 6 (2011 г.) и *al* 8 (2010 г.). Вторые ЦК первого кластера детерминируют четыре максимума Δr со средними датами 25.05, 27.06, 29.07 и 1.09. Вторые ЦК второго кластера детерминируют шесть локальных максимумов Δr , включая три среднелетних (18.06, 09.07 и 30.07); максимумы 09.07 соответствуют периодам среднелетнего прироста.

Третьи ЦК образуют три кластера с периодами $T_{cp} = 17$ сут; $T_{cp} = 22$ сут и $T_{cp} = 27$ сут. Из них два кластера (с периодами $T_{cp} = 17$ сут и $T_{cp} = 27$ сут) детерминируют локальные максимумы 08.07...09.07.

Четвертые ЦК характеризуются сильно варьирующимися параметрами. Из всего массива четвертых ЦК выделяется, прежде всего, кластер исключительно короткопериодических циклов ($T_{cp} = 15$ сут); у двух побегов – кластер циклов со средним периодом $T_{cp} = 18$ сут. Последний кластер (подобно короткопериодическому кластеру третьих ЦК) детерминирует локальный максимум 05.07.

Сравнительный анализ влияния дополнительных ЦК на общую динамику Δr показал, что локальные экстремумы эмпирических рядов динамики могут определяться сочетаниями дополнительных эндогенных ритмов с различными периодичностью и амплитудой. В частности, в начале июля локальный экстремум динамики Δr обоих побегов *al* 4 возникает за счет суммирования третьей и четвертой ЦК, а тот же локальный экстремум динамики Δr обоих побегов *al* 8 – за счет суммирования всех трех дополнительных ЦК.

Выводы

На примере одновозрастного генетически выровненного материала, выращенного в однородных условиях, удалось показать, что в цикличности суточного радиального прироста несущих побегов ивы белой существуют определенные закономерности.

1. Полицикличность динамики среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой с высокой степенью надежности аппроксимируется путем суммирования циклических компонент. На имеющемся материале выявлено существование четырех циклических компонент.

2. Первая (длиннопериодическая) циклическая компонента отражает существование главных генетических программ морфогенеза, реализация которых приводит к появлению ранне- и позднелетнего максимумов среднесуточного радиального прироста, разделенных периодом относительного покоя.

3. Вторая, третья и четвертая (короткопериодические) циклические компоненты отражают существование дополнительных программ морфогенеза, которые оказывают модулирующее (или модифицирующее) воздействие на общую ритмику среднесуточного радиального прироста.

4. Динамика среднесуточного радиального прироста несущих побегов ивы белой определяется не только общими принципами регуляции морфогенеза (длиннопериодическая циклическая компонента), но и индивидуальными особенностями растений (короткопериодические циклические компоненты).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афонин А.А.* Изменчивость побегов ивы белой // Лесн. журн. 2003. № 2–3. С. 15–18. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Афонин А.А.* Сравнительная морфодинамика однолетних побегов ив Брянского лесного массива: моногр. Брянск: Изд-во «Курсив», 2011. 145 с.
3. *Афонин А.А.* Динамика нарастания лидерных побегов сеянцев ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm.) // Лісове і садово-паркове господарство. К.: ЦП «Компринт», 2012. № 2. С. 5–24.
4. *Афонин А.А., Анищенко Л.Н., Борздыко Е.В., Кротикова И.В.* Динамика нарастания лидерных побегов аутбредных сеянцев ивы белой (*Salix alba* L.) // Вестн. Брянского гос. ун-та. Серия «Естественные и точные науки». 2011. №4. С. 81–86.
5. *Афонин А.А., Анищенко Л.Н., Борздыко Е.В., Кротикова И.В.* Сравнительная морфодинамика нарастания лидерных побегов сеянцев ивы белой (*Salix alba* L.) // Ежегодник НИИ фундамент. и приклад. исслед. за 2011 г. Брянск: РИО Брянского гос. ун-та, 2012. С. 65–74.
6. *Гашева Н.А.* К методике структурного изучения побеговых модулей *Salix* // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. №12. С. 99–110.
7. *Гетманец И.А.* Модульная организации побегового тела ив // Вестн. ТвГУ. Сер. «Биология и экология». Вып. 9. 2008. С. 47–50.
8. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2009. 478 с.
9. *Кренке Н.П.* Основные положения теории циклического старения и омоложения растений в онтогенезе (Теория возрастной цикличности) // Теория циклического старения и омоложения растений. М.: Огиз-Сельхозгиз, 1940. С. 5–31.
10. *Львовский Е.Н.* Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высш. шк., 1988. 239 с.
11. *Михалевская О.Б.* Ритмы роста на разных этапах морфогенеза побега у древесных растений // Онтогенез. 2008. Т. 39, №2. С. 85–93.
12. *Михалин М.В., Попков Б.В., Прилуцкий А.Н.* Сезонный ритм растений и перспективы его трансформации // Бюл. БСИ ДВО РАН, 2010. Вып. 5. С. 117–132.
13. *Недосеко О.И.* Жизненные формы ивы розмаринолистной *Salix rosmarinifolia* L. в пределах Нижегородской области // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2012. Т. 117, вып. 2. С. 72–81.

14. *Серебряков И.Г.* Соотношение внутренних и внешних факторов в годичном ритме развития растений: (К истории вопроса) // Ботан. журн. 1966. Т. 51, № 1. С. 923–926.

15. *Толкач О.В., Соколов С.Л., Шнайдер А.* Реакция годичного радиального прироста на внешние условия в зависимости от степени толерантности березовых древостоев // Лесн. журн. 2007. № 3. С. 14–20. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 29.10.14

UDC 57.034 + 630*561.21 + 633.878.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.66

Cyclicity of the Average Daily Radial Growth of Bearing Shoots of European Willow (*Salix Alba* L.) in the Bryansk Forestland

A.A. Afonin, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

S.A. Zaytsev, Postgraduate Student

Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, Bezhitskaya str., 14, Bryansk, 241036, Russian Federation; e-mail: afonin.salix@gmail.com

The paper proves the urgency and summarizes the current state of studying the cyclicity of the average daily radial growth of bearing shoots of European willow (*Salix Alba* L.). The research demonstrates the certain laws in the cyclicity of the average daily radial growth of bearing shoots of European willow as exemplified by the even-aged genetically aligned material grown in the homogeneous environment. The synthetic process of the study subject, i.e. the outbred families of European willow, is described. The paper presents the method of studying the source data and construction of aligned empirical series of dynamics of the average daily radial growth. Each empirical series is treated as a realization of random function. We propose an algorithm for calculating the mathematical expectations of random functions, which is based on the summation of the trend and cyclical components. The results of the research of rhythmicity of the average daily radial growth of uneven-aged bearing shoots are presented. Two basic types of empirical series of dynamics of the average daily radial growth are described. The 1st type is characterized by a clearly expressed period of the mid-summer relative rest without the preceding local maximum. The 2nd type is characterized by a local maximum of the average daily radial growth before the mid-summer minimum. The paper analyzes the structure of mathematical expectations of random functions. The sequential introduction of the cyclical components increases the reliability of the approximation of the empirical series. Cyclical components vary in several parameters: a period and amplitude. We identify the long and short periodic cyclical components of the mathematical expectations of random functions. Long-periodic cyclical components make the main contribution to the dynamics of the average daily radial growth (in most cases, the period is of 48...54 days). Long-periodic cyclical components characterize the shoot system of an individual as a whole. Short-periodic cyclical components characterize the uneven-aged shoots within the shoot systems. The contribution of short-periodic cyclical components (the periods are of 13...36 days) in the overall dynamics of the average daily radial growth is determined by their interference. The local extreme points of the empirical series of dynamics are determined by a combination of additional endogenous rhythms with different frequencies and amplitude. Cyclical components of random functions

are considered as the genetic morphogenesis programs. We have determined the influence of the individual characteristics of the plants on the general dynamics of the average daily radial growth of bearing shoots.

Keywords: European willow, bearing shoots, radial growth, daily gain, endogenous biological rhythms, cyclic components.

REFERENCES

1. Afonin A.A. Izmenchivost' pobegov ivy beloy [Variability of White Willow Shoots]. *Lesnoy zhurnal*, 2003, no. 2–3, pp. 15–18.
2. Afonin A.A. *Sravnitel'naya morfodinamika odnoletnikh pobegov iv Bryanskogo lesnogo massiva: monogr.* [Comparative Morphodynamics of Willow Annual Shoots of a Bryansk Forestland]. Bryansk, 2011. 145 p.
3. Afonin A.A. Dinamika narastaniya lidernykh pobegov seyantsev ivy sherstistopobegovoy (*Salix dasyclados* Wimm.) [The Growth Dynamics of the Leader Shoots of Dasycladous Seedlings of Willow (*Salix dasyclados* Wimm.). *Lisove i sadovo-parkove gospodarstvo*, 2012, no. 2, pp. 5–24.
4. Afonin A.A., Anishchenko L.N., Borzdyko E.V., Krotikova I.V. Dinamika narastaniya lidernykh pobegov autbrednykh seyantsev ivy beloy (*Salix alba* L.) [The Growth Dynamics of the Leader Shoots of Outbreeding Seedlings of White Willow (*Salix alba* L.). *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tochnye nauki* [The Bryansk State University Herald], 2011, no. 4, pp. 81–86.
5. Afonin A.A., Anishchenko L.N., Borzdyko E.V., Krotikova I.V. Sravnitel'naya morfodinamika narastaniya lidernykh pobegov seyantsev ivy beloy (*Salix alba* L.) [Comparative Morphodynamics of Growth of the Leader Shoots of Seedlings of White Willow (*Salix alba* L.). *Ezhegodnik NII fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy za 2011 g.* [Yearbook of the Research Institute for Fundamental and Applied Research in 2011]. Bryansk, 2012, pp. 65–74.
6. Gasheva N.A. K metodike strukturnogo izucheniya pobegovykh moduley *Salix* [On the Methods of the Structural Investigation of *Salix* Sprout Modules]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2011, no. 12, pp. 99–110.
7. Getmanets I.A. Modul'naya organizatsiya pobegovogo tela iv [Module Arrangement of the Willow Shoot Bodies]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya i ekologiya* [Herald of Tver State University. Ser.: Biology and Ecology], 2008, vol. 9, pp. 47–50.
8. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, 2009. 478 p.
9. Krenke N.P. Osnovnye polozheniya teorii tsiklicheskogo stareniya i omolozheniya rasteniy v ontogeneze (Teoriya vozrastnoy tsiklichnosti) [The Main Provisions of the Theory of Cyclic Aging and Rejuvenation of Plants in Ontogenesis (the Theory of the Age Cycles)]. *Teoriya tsiklicheskogo stareniya i omolozheniya rasteniy* [The Theory of Cyclic Aging and Rejuvenation of Plants]. Moscow, 1940, pp. 5–31.
10. L'vovskiy E.N. *Statisticheskie metody postroeniya empiricheskikh formul* [Statistical Methods for the Empirical Formulas Constructing]. Moscow, 1988. 239 p.

11. Mikhalevskaya O.B. Ritmy rosta na raznykh etapakh morfogeneza pobega u drevesnykh rasteniy [Growth Rhythms at Different Stages of Shoot Morphogenesis in Woody Plants]. *Ontogenez* [Russian Journal of Developmental Biology], 2008, vol. 39, no. 2, pp. 85–93.

12. Mikhailin M.V., Popkov B.V., Prilutskiy A.N. Sezonnnyy ritm rasteniy i perspektivy ego transformatsii [The Seasonal Rhythms of Plants and Prospects of Its Transformation]. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy Akademii nauk* [Bulletin of the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 5, pp. 117–132.

13. Nedoseko O.I. Zhiznennyye formy ivy rozmarinolistnoy *Salix rosmarinifolia* L. v predelakh Nizhegorodskoy oblasti [Vital Forms of *Salix rosmarinifolia* L. within the Nizhny Novgorod Region]. *Byullyuten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologii* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series], 2012, vol. 117, no. 2, pp. 72–81.

14. Serebryakov I.G. Sootnoshenie vnutrennikh i vneshnikh faktorov v godichnom ritme razvitiya rasteniy: (K istorii voprosa) [The ratio of Internal and External Factors in the Annual Rhythm of Plant Development: (On the History Issue)]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1966, vol. 51, no. 1, pp. 923–926.

15. Tolkach O.V., Sokolov S.L., Shnayder A. Reaktsiya godichnogo radial'nogo prirosta na vneshnie usloviya v zavisimosti ot stepeni tolerantnosti berezovykh drevostoev [The Annual Radial Growth Reaction to the External Conditions Depending on the Degree of Tolerance of Birch Stands]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 3, pp. 14–20.

Received on October 29, 2014

УДК 630*56+633.878.32+630*228.7
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.77

**ХОД РОСТА ТОПОЛЕЙ НЕВСКОГО (*POPULUS* × *NEWESIS* BOGD.)
И ВОЛОСИСТОПЛОДНОГО (*P. TRICHOCARPA* TORR. ET GRAY)
В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ***

Н.А. Демидова, канд. биол. наук

С.В. Ярославцев, канд. с-х. наук, доц.

Т.М. Дуркина, науч. сотр.

И.В. Федотов, мл. науч. сотр.

А.С. Ильинцев, мл. науч. сотр.

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова,
д. 13, г. Архангельск, Россия, 163051; e-mail: sevniilh@sevniilh-arh.ru

Тополь, как одна из наиболее быстрорастущих пород бореальной и умеренной климатических зон, широко используется во всем мире для плантационного выращивания. Древесина тополя и осины – ценное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, мебельного и фанерного производств. Тополь используют для восстановления деградированных земель, лесных ландшафтов, смягчения последствий изменения климата. Изучение хода роста интродуцированных тополей, определение количественной спелости древесины, а также возраста рубки тополевых насаждений в условиях Европейского Севера России проведено впервые. Анализ хода роста модельных деревьев показал, что максимальный прирост по диаметру формируется в возрасте 10...15 лет, затем начинает снижаться. Интенсивный рост по высоте начинается в возрасте 10 лет и продолжается до 20 лет. Максимальный прирост по высоте составляют 1,2...1,3 м/год. Установлено, что текущий прирост по объему модельных деревьев тополей не достигает максимальных значений к возрасту 25 лет. Для развития идеи плантационного лесовыращивания и получения максимально возможного количества сырья за минимально короткий оборот рубки важным показателем является возраст количественной спелости, который для изучаемых тополей в условиях Европейского Севера России наступает с 30 до 35 лет. По результатам изучения хода роста тополей сделан вывод о том, что для плантационного выращивания в целях получения балансовой древесины на Европейском Севере России наибольший интерес представляет тополь невский. Он характеризуется лучшим ростом по диаметру, высоте и объему. Для него запас в возрасте 25 лет составляет 349 м³/га при среднегодовом приросте 13,9 м³/га. Тополь волосистоплодный уступает тополю невскому по объему ствола, но его также можно использовать для плантационного выращивания. Необходимы дальнейшие наблюдения и изучение этих таксонов тополей, проведение научно-производственных испытаний тополя невского на опытных плантациях в различных частях региона.

Ключевые слова: тополь, клон, плантация, ход роста, прирост средний и текущий, запас, количественная спелость, Европейский Север России.

* Исследования проведены в рамках НИР «Сохранение и пополнение коллекции древесных растений дендрологического сада ФБУ СевНИИЛХ при реализации государственного задания на 2012–2014 гг. Федерального агентства лесного хозяйства (Приказ Рослесхоза № 594 от 29.12.2011).

Введение

Тополь – одна из наиболее быстрорастущих пород бореальной и умеренной климатических зон, его широко используют во всем мире для плантационного выращивания. Древесина тополя и осины – ценное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности, мебельного и фанерного производств. Кроме того, тополь используют для восстановления деградированных земель, лесных ландшафтов, смягчения последствий изменения климата. В настоящее время он все более востребован при выращивании биоэнергетических плантаций для производства биотоплива.

На Европейском Севере России естественно произрастает только один вид – тополь дрожащий, или осина (*Populus tremula* L.). Одним из существенных недостатков осины является то, что к возрасту спелости она массово повреждается сердцевинной гнилью, вызываемой ложным осиновым трутовиком (*Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. Et. Boriss.). Это сильно снижает качество древесины. Изучением строения, хода роста, сортиментной и товарной структуры осиновых древостоев в условиях Европейского Севера России занимался Г.С. Войнов. Им сделан вывод, что количественная спелость у осины наступает в возрасте 40 лет, назначение в рубку для получения максимального количества балансовой древесины целесообразно проводить в возрасте 51...60 лет. По данным [3, 4] запас древесины в осиновых древостоях с полнотой 0,7 составляет 165...225 м³/га.

В современных условиях, при быстром развитии технологии лесохимического производства, от лесного хозяйства требуется ежегодное получение наибольшего количества древесины с площади хозяйства. Это возможно при установлении оборотов рубки по количественной спелости [9].

Царев А.П. и др. считают [10], что при высокой агротехнике выращивания быстрорастущие тополевые культуры накапливают древесину гораздо быстрее, чем аутохтонные осиновые насаждения. В условиях Воронежской области им определен возраст количественной спелости древесины быстрорастущих сортов тополей, который составляет 26...28 лет.

В целях изучения возможности использования тополей для плантационного лесовыращивания в условиях Европейского Севера России и отбора наиболее перспективных форм интродуцировано 16 таксонов тополя в дендросаду Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ). По устойчивости, энергии роста и продуктивности выделены перспективные таксоны, которые успешно могут быть использованы для выращивания на плантациях. По результатам исследований для этих целей предлагаются тополя невский (*Populus × newesis* Bogd.) и волосистоплодный (*P. trichocarpa* Torr. et A. Gray) [6].

Руководствуясь рекомендациями по интродукционному зонированию Европейского Севера России [7] предложено провести научно-производственные испытания тополя невского на опытных плантациях в различных

интродукционных районах региона (Онежско-Архангельском, Плесецко-Коношском, Вычегодско-Нижнесухонском, Юго-Западном).

Ход роста интродуцированных тополей, определение количественной спелости древесины, а также возраста рубки тополевых насаждений в условиях Европейского Севера России изучено впервые.

Объекты и методы исследования

Исследования проводятся на территории дендрологического сада СевНИИЛХа. Дендросад расположен вблизи г. Архангельска (64° 33' с.ш., 39° 40' в.д.), в северо-таежном лесном районе. Подробные сведения о природных условиях района расположения сада были опубликованы ранее [8]. Плантация тополей была создана на старопахотном участке, заросшем мелколесьем.

Объектом исследования является клоновый архив тополей, созданный в 1989–90 гг. по плантационному типу со строго определенной целью: путем сравнительного изучения и оценки продуктивности различных клонов (видовых и гибридных) выделить наиболее перспективные в качестве местных сортов (форм) для плантационного выращивания на Севере. История создания плантации тополей в дендросаду СевНИИЛХа, условия выращивания, технология создания, схема посадки и породный состав приведены в [6]. Площадь плантации тополей – 0,7 га, густота посадки – 1600 шт./га. Среди высаженных на плантацию клонов тополей были тополя невский (*P. newesis* Bogd.) и волосистоплодный (*Populus trichocarpa* Torr. et A. Gray). Посадка их произведена блоками, в трехкратной повторности, размер блока (22,5×22,5) м. Всего высажено 225 шт. тополя невского и 81 шт. тополя волосистоплодного. Сохранность их в настоящее время составляет соответственно 74 и 62 %.

Посадочный материал тополей, высаженных на плантацию, получен с маточника, созданного на основе коллекции тополей дендросада. В коллекции тополь невский, полученный П.Л. Богдановым в 1934 г. от гибридной семьи: тополь канадский×бальзамический, представлен 9 экземплярами. Черенки были получены из дендрария Ленинградской лесотехнической академии в 1969 г. Листья гибридного типа, по форме и окраске ближе к отцовскому дереву – тополю бальзамическому (темно-зеленые сверху, беловатые снизу). Тополь морозоустойчив, зимостойкость в условиях Архангельска – I. Дерево мужское [2]. Тополь волосистоплодный – североамериканский вид. Выдерживает морозы до –40 °С, отличается быстрым ростом. Древесина используется преимущественно на целлюлозу [2]. В коллекции дендросада имеется 7 экз. этого вида, которые были посажены черенками, полученными в 1971 г. из Главного ботанического сада (Москва). Зимостойкость в условиях Архангельска – I-II.

Рост тополей изучали по общепринятой методике в 2013 г. [1, 5]. Для замера диаметра стволов использовали мерную вилку Mantax Precision

11–100–1032, для замера высоты – дальномер-высотомер лазерный Vertex Laser VL 400. Изучение хода роста тополей проводили по модельным деревьям. Всего было взято по две модели каждого из изучаемых таксонов.

На основании проведенного сплошного перечета с замером высоты и диаметра на высоте 1,3 м были подобраны модельные деревья, близкие по параметрам к расчетному среднему дереву. Кружки для подсчета годичных слоев и измерения диаметров выпиливали на шейке корня, на высоте груди – 1,3 м, далее на каждом нечетном метре (1,0; 3,0 м и т.д.) и в верхнем отрубе последней секции. В камеральных условиях на кружках проводили все необходимые измерения и подсчеты по 5-летним периодам возраста. Объем модельных деревьев определяли по сложной формуле срединного сечения.

Определение запасов древесины тополей произведено по способу средней модели.

Результаты исследований и их обсуждение

Средние таксационные показатели выделенных таксонов тополей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика таксонов тополей (2013 г.)

Таксоны тополей	Возраст, лет	Класс бонитета	Средние		Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га	Старое видовое число
			диаметр, см	высота, м			
Невский (№ 2117)	25	16	20,6	20,5	38,4	349	0,441
Волосистоплодный (№ 409-72)	25	16	19,7	19,0	36,8	291	0,416

Тополь в условиях Севера является быстрорастущей породой, в возрасте 25 лет его древостои достигают средней высоты 19,0...20,5 м. При этом тополь волосистоплодный несколько уступает по всем таксационным показателям тополию невскому. Полнодревесность стволов тополя волосистоплодного также несколько ниже, чем у тополя невского. Разница в запасах древостоев этих видов тополей составляет 58 м³/га.

Ход роста тополей (по модельным деревьям) представлен в табл. 2.

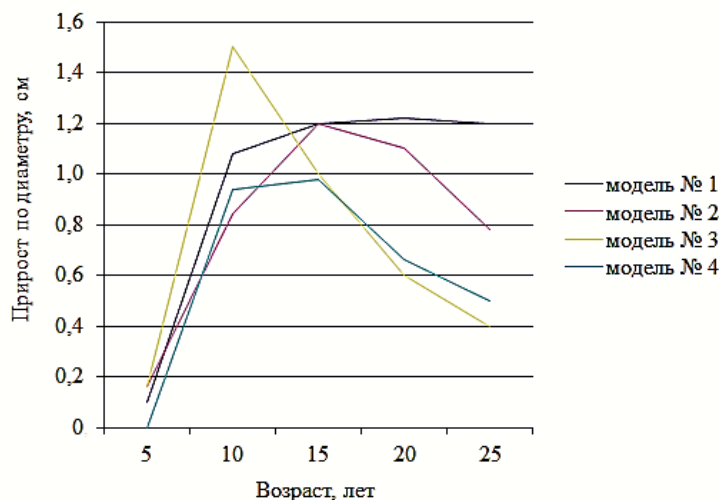
Анализ хода роста модельных деревьев показал, что максимальный прирост по диаметру формируется в возрасте 10...15 лет, затем начинает снижаться (рис. 1). Однако у модели № 1 прирост по диаметру остается максимальным и до настоящего времени.

Таблица 2

Ход роста древесного ствола тополей невского и волосистоплодного по диаметру, высоте и объему

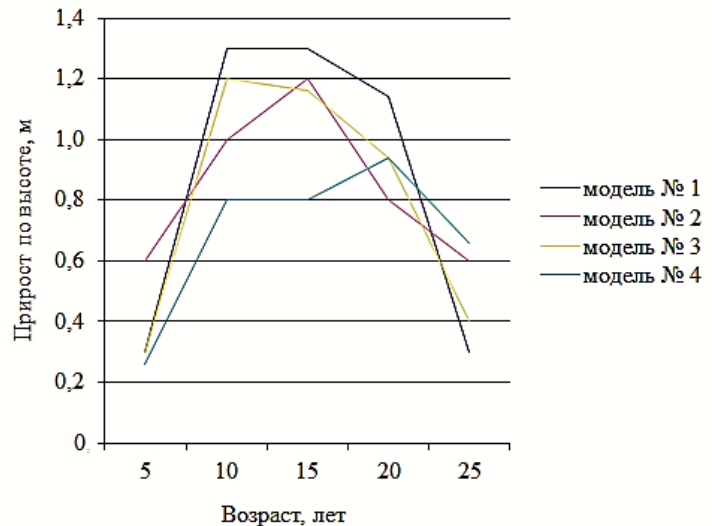
Возраст, лет	Диаметр на высоте 1,3 м	Прирост по диаметру, см	Процент прироста	Высота, м	Прирост по высоте, м	Процент прироста	Объем ствола без коры, м ³	Прирост по объему, м ³ /год		Процент прироста
								Средний	Текущий	
<i>Модель 1 – тополь невский</i>										
5	0,5	0,10	–	1,5	0,30	–	0,0002	0,00004	0,00004	–
10	5,9	1,08	33,75	8,0	1,30	27,37	0,0092	0,00184	0,0018	38,29
15	11,9	1,2	13,48	14,5	1,30	11,56	0,0586	0,01172	0,00988	29,14
20	18,0	1,22	8,16	20,2	1,14	6,57	0,1838	0,03092	0,02504	20,69
25	22,8	1,2	4,71	21,4	0,30	1,15	0,3705	0,092625	0,046675	13,47
<i>Модель 4 – тополь невский</i>										
5	0,8	0,16	–	3,0	0,60	–	0,0003	0,00006	0,00006	–
10	5,0	0,84	28,90	8,0	1,00	18,10	0,0084	0,00084	0,00162	37,20
15	11,0	1,20	14,10	14,0	1,20	10,90	0,0568	0,00378	0,00968	29,70
20	15,5	1,10	6,79	18,0	0,80	5,00	0,1498	0,00749	0,01860	18,00
25	19,4	0,78	4,40	21,0	0,60	3,07	0,27323	0,01092	0,02468	11,70
<i>Модель 2 – тополь волосистоплодный</i>										
5	0,8	0,16	–	1,5	0,30	–	0,0013	0,00026	0,0003	–
10	8,3	1,50	32,90	7,5	1,20	26,60	0,0195	0,00195	0,0036	35,00
15	13,3	1,00	9,30	13,3	1,16	11,10	0,0729	0,00486	0,0107	23,10
20	16,3	0,60	4,10	18,0	0,94	9,80	0,1454	0,00727	0,0145	13,30
24	17,8	0,40	2,20	19,6	0,40	2,10	0,2006	0,00835	0,0110	7,90
<i>Модель 3 – тополь волосистоплодный</i>										
5	–	–	–	1,3	0,26	–	0,00048	0,000096	0,000096	–
10	4,7	0,94	–	6,3	0,80	21,00	0,00351	0,000351	0,000606	30,40
15	9,6	0,98	13,70	10,3	0,80	9,60	0,03157	0,002104	0,005612	31,90
20	12,9	0,66	5,80	15,0	0,94	7,40	0,07983	0,003999	0,009652	17,30
25	15,4	0,50	3,50	18,3	0,66	4,60	0,14201	0,005680	0,012436	11,20

Рис. 1. Зависимость прироста модельных деревьев тополя по диаметру от возраста



Интенсивный рост по высоте начинается в возрасте 10 лет и продолжается до 20 лет (рис. 2). Максимальные значения прироста по высоте составляют 1,2...1,3 м/год.

Рис. 2. Зависимость прироста модельных деревьев тополя по высоте от возраста



Текущий прирост по объему модельных деревьев тополей не достиг своих максимальных значений к 25 годам (рис. 3). Лишь у модельного дерева №3 наступила кульминация текущего прироста. Средний прирост деревьев также непрерывно возрастает, но не достигает своих максимальных значений. Соотношение текущего и среднего прироста древесины является наиболее точным показателем возраста количественной спелости. В теории и практике лесоустройства количественную спелость принято определять возрастом (А), в котором дерево дает максимальный средний прирост древесины. В этом же возрасте текущий прирост становится равным среднему. Так как кульминация текущего и среднего прироста еще не наступила, для определения возраста количественной спелости целесообразно использовать метод определения количественной спелости по проценту прироста [9]. Экстраполяция процентов текущего прироста модельных деревьев до пересечения с кривой процентов текущего прироста, определенной по формуле $P' = 100/A$, показывает, что возраст количественной спелости деревьев тополя наступит в 30...35 лет (рис. 4). Это очень важный показатель для развития идеи плантационного лесовыращивания, для получения максимально возможного количества сырья за минимально короткий оборот рубки.

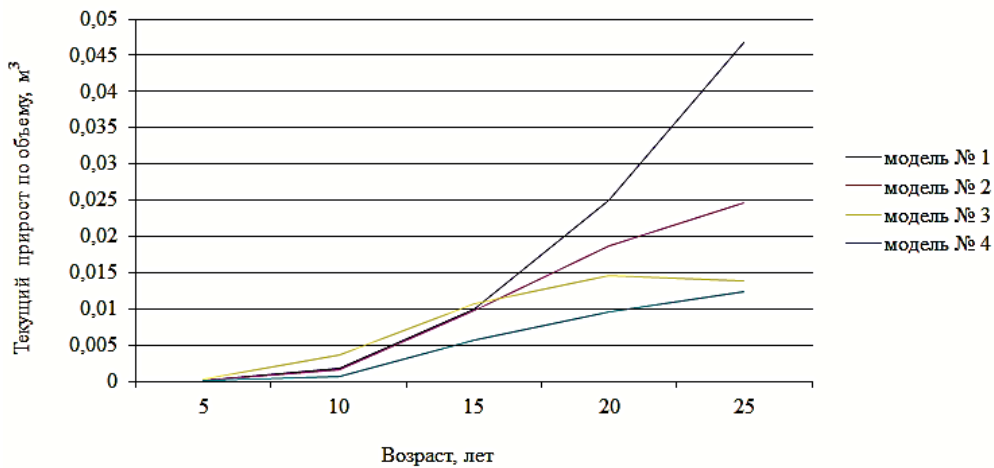


Рис. 3. Зависимость текущего прироста модельных деревьев тополя по объему от возраста

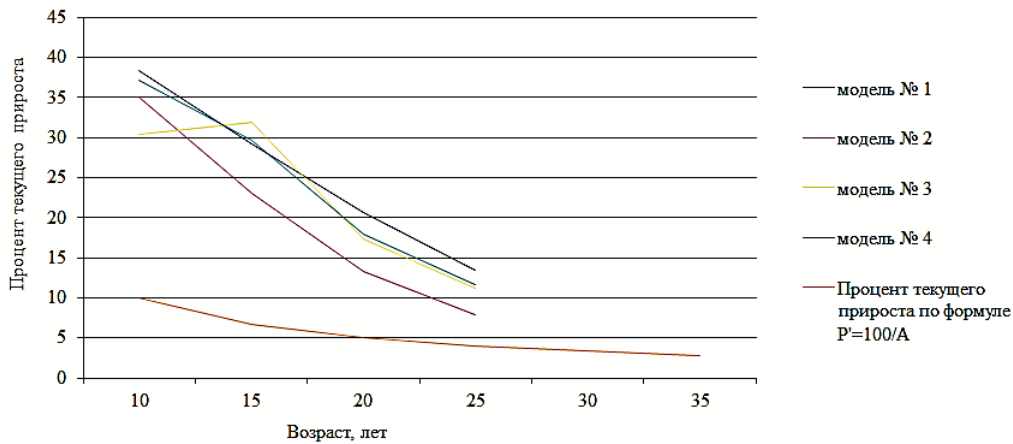


Рис. 4. Зависимость процента текущего прироста модельных деревьев тополя от возраста

Таким образом, по результатам изучения хода роста тополей сделан вывод о том, что для плантационного выращивания в целях получения балансовой древесины на Европейском Севере России наибольший интерес представляет тополь невский, который характеризуется лучшим ростом по диаметру, высоте и объему; его запас в возрасте 25 лет составляет 349 м³/га при среднегодовом приросте 13,9 м³/га. Тополь волосистоплодный уступает тополи

невскому по объему ствола, но и его также можно использовать для плантационного выращивания. Необходимы дальнейшие наблюдения и изучение этих таксонов тополей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 5-е изд., доп. 552 с.
2. Богданов П.Л. Тополя и их культура. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 104 с.
3. Войнов Г.С. Особенности роста осинников северной подзоны тайги // Материалы годичной сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1979 г. 1980. С. 23–25.
4. Войнов Г.С., Чупров Н.П., Ярославцев С.В. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части России (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми). Архангельск: СевНИИЛХ, 2012. 672 с.
5. Гусев И.И., Калинин В.И. Лесная таксация: учеб. пособие к проведению полевой практики. Л.: ЛТА, 1988. 61 с.
6. Демидова Н.А., Дуркина Т.М. Особенности роста и развития тополей в условиях интродукции на Европейском Севере России// Лесн. журн. 2013. № 5. С.78–87. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Демидова Н.А., Нилова В.Н. Интродукционное районирование Европейского Северо-востока России// Науч. ведомости БелГУ. Серия «Естественные науки». 2012. № 9 (128), вып. 19. С. 36–44.
8. Древесные растения дендрологического сада АИЛиЛХ/ Под ред. В.Н. Нилова. Архангельск: АИЛиЛХ, 1980. 67 с.
9. Неволин О.А., Третьяков С.В., Ердяков С.В., Торхов С.В. Лесоустройство: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 588 с.
10. Царев А.П., Царева Р.П., Царев В.А. Динамика сохранности и продуктивности настоящих тополей при испытании в условиях умеренного климата// Вестн. ВОГиС. 2010. Т. 14. С. 255–264.

Поступила 14.04.15

UDC 630*56+633.878.32+630*228.7

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.77

The Growth Course of Neva Poplar (*Populus x newesis* Bogd.) and Californian Poplar (*Populus trichocarpa* Torr. et Gray) in the European North of Russia

N.A. Demidova, Candidate of Biological Sciences

S.V. Yaroslavtsev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

T.M. Durkina, Research Officer

I.V. Fedotov, Research Assistant

A.S. Il'intsev, Research Assistant

Northern Research Institute of Forestry, Nikitov str., 13, Arkhangelsk, 163051, Russian Federation; e-mail: forestry@sevniilh-arh.ru

Poplar is one of the most fast-growing species of the boreal and temperate climate zones; it is widely used for plantation cultivation worldwide. Poplar and aspen timber is a valuable

raw material for the pulp and paper industry, furniture and plywood production. Poplar is used to restore the degraded lands, forest landscapes, and for the climate change mitigation. The study of the growth course of the introduced poplars, quantitative wood maturity determination and a felling age of the poplar plantations in the European North of Russia is carried out for the first time. The growth course analysis of the model trees demonstrates the formation of the maximum increment in diameter at the age of 10...15 years; and then it begins to decrease. The intensive growth in height begins at age of 10 and lasts up to 20 years. The maximum height increment is 1.2...1.3 m per year. The current increment in volume of the model poplar trees does not reach the maximum values to the age of 25 years. The age of quantitative maturity is a very important indicator for the development of the plantation forest growth and obtaining the maximum possible amount of raw material in the shortest cutting period. This indicator in the European North of Russia is observed at the studied poplars of 30...35 years. According to the results of the research of the poplar growth course we can conclude that Neva poplar represents the greatest interest for the plantation cultivation for the pulpwood production in the European North of Russia. It is characterized by a better growth in diameter, height and volume. Its yield at the age of 25 years is 349 m³ / ha, with an average annual growth rate of 13.9 m³ / ha. Californian poplar comes short of Neva poplar in a trunk volume, but it also can be used for a plantation growth. Further observation and study of poplar taxa, research and testing of Neva poplar in the treated plantations in various parts of the region should be conducted.

Keywords: poplar, clone, plantation, growth course, mean and current increment, yield, quantitative maturity, European North of Russia.

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Survey]. Moscow, 1982. 552 p.
2. Bogdanov P.L. *Topolya i ikh kul'tura* [Poplars and Their Culture]. Moscow, 1965. 104 p.
3. Voynov G.S. Osobennosti rosta osinnikov severnoy podzony taygi [Aspen Growth Peculiarities in the Northern Subzone of Taiga]. *Materialy godichnoy sessii po itogam nauch.-issledovat. rabot za 1979 g.* [Proc. Annual Session on the Results of Sci. and Research Works for 1979]. 1980, pp. 23–25.
4. Voynov G.S., Chuprov N.P., Yaroslavtsev S.V. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po severo-vostoku Evropeyskoy chasti Rossii (normativnye materialy dlya Nenetskogo avtonomnogo okruga, Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Respubliki Komi)* [Forest Inventory Guide for the North-East of the European Part of Russia (Standards for the Nenets Autonomous Area, Arkhangelsk and Vologda Regions and the Komi Republic)]. Arkhangel'sk, 2012. 672 p.
5. Gusev I.I., Kalinin V.I. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Survey]. Leningrad, 1988. 61 p.
6. Demidova N.A., Durkina T.M. Osobennosti rosta i razvitiya topoley v usloviyakh introduktsii na Evropeyskom Severe Rossii [Peculiarities of Growth and Development of Poplar in the Introduced Conditions in the European North of Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 78–87.

7. Demidova N.A., Nilov V.N. Introduktsionnoe rayonirovanie Evropeyskogo Severo-vostoka Rossii [Introduction Zoning of the European North-East of Russia]. *Nauchnye vedomosti Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2012, no. 9 (128), iss. 19, pp. 36–44.

8. *Drevesnye rasteniya dendrologicheskogo sada AILiLKh* [Woody Plants of the Dendrological Garden of the Arkhangelsk Institute of Forest and Wood Chemistry]. Ed. by V.N. Nilov. Arkhangelsk, 1980. 67 p.

9. Nevolin O.A., Tret'yakov S.V., Erdyakov S.V., Torkhov S.V. *Lesoustroystvo* [Forest Management]. Arkhangelsk, 2005. 588 p.

10. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Tsarev V.A. Dinamika sokhrannosti i produktivnosti nastoyashchikh topoley pri ispytanii v usloviyakh umerennogo klimata [Survival and Productivity Dynamics of Poplars When Testing in a Temperate Climate]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding], 2010, vol. 14, pp. 255–264.

Received on April 14, 2015



УДК 630*165.61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.87

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНУТРИВИДОВОГО ПОЛИМОРФИЗМА

Ю.И. Макаров, асп.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина,
ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, Вологодская область, Россия, 160555;
e-mail: yuriy.makarov.1991@mail.ru

Исследования, проводимые на территории Вологодской области, в подзонах южной и средней тайги, в еловых насаждениях кисличных и черничных типов условий местопроизрастания, были направлены на изучение особенностей внутривидовой изменчивости ели европейской (*Picea abies*), которая сформировалась на вырубках прошлых лет, а также на оценку их производительности и выявление наиболее перспективных для выращивания внутривидовых форм. Сбор материала и закладка пробных площадей выполнены с учетом требований ГОСТ 16128–70, ОСТ 56–69–83 и методических указаний В.Н. Сукачева и С.В. Зонна в молодняках, средневозрастных, приспевающих и спелых древостоях. Характер строения коры определен на высоте груди, тип ветвления – по сучьям, растущим в средней части кроны. По характеру строения коры выявлено 4 формы ели: гладкокорая, чешуйчатокорая, пластинчатокорая, продольнотрещиноватокорая. С возрастом происходит перераспределение встречаемости форм за счет трансформации одной формы в другую. Более ярко трансформация прослеживается в средневозрастных насаждениях, где доленое участие гладкокорых особей сократилось: на 35 % – по числу стволов, на 27 % – по запасу. По типу ветвления выявлено наличие 3 форм ели: плоский, щетковидный и гребенчатый. Среди выделенных форм по производительности лидерами являются особи с гребенчатым и щетковидным типами ветвления. Все три типа ветвления имеют место у деревьев, различающихся по характеру строения коры. В молодняках преобладает гладкокорая форма с плоским типом ветвления (22%), в средневозрастных и приспевающих – чешуйчатокорая с гребенчатым типом ветвления (23 и 14% соответственно). Средний диаметр деревьев с продольнотрещиноватой корой больше, чем у других форм. По средним значениям высоты более высокие показатели имеют особи с пластинчатой и продольнотрещиноватой корой. В целом лидерами по всем показателям являются формы ели с продольнотрещиноватой и пластинчатой корой, гребенчатым и щетковидным типами ветвления. С учетом распределения по классам роста Крафта гладкокорая ель в большинстве своем сосредоточена в III классе; чешуйчатокорые и пластинчатокорые формы занимают господствующее положение, продольнотрещиноватокорая составляет доминирующий полог. Результаты проведенного исследования могут служить основой для выявления перспективных форм ели для дальнейшего выращивания и обоснования селективного метода отбора деревьев в рубку.

Ключевые слова: формовое разнообразие, тип ветвления, характер строения коры.

Ель в нашей стране занимает 16,4 % лесопокрытой площади и является второй после сосны важнейшей древесной породой. Ель отличается весьма широкой амплитудой внутривидовой изменчивости. Содержит много экотипов и целую серию морфологических форм. Различные ее формы обнаружены и описаны во всем естественном ареале, в парках, ботанических садах и др. местах [7–9].

У ели имеются географические и морфологические формы, различающиеся по характеру сучьев и ветвей, окраске молодых женских шишечек, форме чешуй, строению и окраске коры [1–6]. Многообразие форм используется и учитывается при назначении лесохозяйственных мероприятий по повышению продуктивности лесов [3, 10].

В вопросе лесоводственной оценки внутривидовых форм ели много неясного, одни признаки, принимаемые как достоверные, являются не столько наследственными, сколько показателями состояния дерева и лесорастительных условий, в которых оно произрастает. Дальнейшее изучение этого вопроса и расширение географии исследований позволит выявить и объективно оценить продуктивность древостоев, образованных теми или иными видами и формами, а также разработать рекомендации по повышению продуктивности лесов Севера [2, 3].

Объекты исследования расположены в подзонах южной и средней тайги, представлены еловыми насаждениями кисличных и черничных типов условий местопроизрастания со смешанным составом древостоя. Для лесоводственной оценки внутривидовой изменчивости ели европейской (рис. 1) в условиях Вологодской области заложены 15 пробных площадей (ПП), в том числе по одной ПП в молодняках и в средневозрастных, 7 ПП в приспевающих и 6 ПП в спелых древостоях.

Эти насаждения по своему происхождению относятся к лесам нарушенного происхождения, которые сформировались на вырубках прошлого века. Рассматриваемые ельники в составе древостоя имеют незначительную примесь других древесных пород (береза, осина, ольха). Производительность древостоев характеризуется I–III классами бонитета. Они имеют высокую полноту и запас стволовой древесины (до 400 м³). На исследуемых объектах по характеру строения коры зафиксировано 4 формы ели.

Встречаемость ели европейской (*Picea abies* (L) Karst) по характеру строения коры имеет показатели, размещенные в табл. 1. В молодняках доминирующее положение по количеству стволов занимает гладкокорая и чешуйчатокорая формы (50 и 41% соответственно). С возрастом долевое участие чешуйчатокорой ели в составе древостоя превосходит другие формы более чем в 2 раза.



Рис. 1. Формы ели по характеру строения коры

В средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях форма ели с чешуйчатой корой занимает уже доминирующее положение (соответственно 46, 40 и 41%). Одновременно с этим увеличивается долевое участие в составе древостоя как по числу стволов, так и по запасу стволовой древесины, пластинчатокорых и продольнотрещиноватокорых форм ели. При этом представительство гладкокорых форм с увеличением возраста сокращается до 19 % по числу стволов и до 18 % по запасу.

Таблица 1

Формовое разнообразие ели на объектах исследования

Форма коры и тип ветвления	Количество деревьев (<i>N</i> , %) и запас древесины (<i>M</i> , %) по хозяйственным группам возраста							
	Молодняки		Средневозрастные		Приспевающие*		Спелые**	
	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>M</i>
Гладкокорая:	50	32	15	5	20±1,47	17±1,75	19±1,64	18±2,12
плоский	22	16	3	1	5±1,06	4±0,91	4±0,91	4±0,72
гребенчатый	14	5	6	1	9±1,52	8±1,41	7±1,82	7±0,98
щетковидный	14	11	6	3	6±1,05	5±0,78	8±0,78	7±0,87
Чешуйчатокорая:	41	55	46	51	40±2,33	40±2,31	41±2,43	40±2,02
плоский	17	21	3	4	13±2,37	13±1,85	10±1,35	9±1,25
гребенчатый	10	16	23	26	14±1,94	15±1,73	11±1,44	12±1,78
щетковидный	14	18	20	21	13±1,91	12±2,01	20±1,53	19±1,44
Пластинчатокорая:	9	13	29	32	23±4,72	26±3,79	20±3,07	18±1,23
плоский	3	4	4	4	5±1,02	5±1,38	5±0,50	1±0,14
гребенчатый	3	6	20	26	9±1,62	9±1,36	8±1,36	8±0,93
щетковидный	3	3	5	2	9±2,07	12±1,93	7±0,93	9±0,79
Продольнотрещиноватокорая:	–	–	10	12	17±3,23	17±2,36	20±2,86	24±1,36
плоский	–	–	1	1	4±0,96	3±0,58	3±0,77	3±0,57
гребенчатый	–	–	5	7	6±1,91	7±1,62	8±1,05	10±1,11
щетковидный	–	–	4	4	7±0,65	7±1,48	9±0,88	11±0,68

*Средние данные по семи ПП. **Средние данные по шести ПП.

В ходе установления встречаемости форм по характеру строения коры в разрезе стадий онтогенеза древостоев выявлено следующее. С возрастом увеличивается представительство форм ели. В средневозрастных, приспевающих и спелых древостоях зафиксировано 4 формы, которые изменяют свое представительство. На наш взгляд, это происходит за счет перехода (трансформации) одной формы в другую. Так, гладкокорые ели с возрастом переходят в чешуйчатокорые, чешуйчатокорые – в пластинчатокорые, пластинчатокорые – в продольнотрещиноватокорые. Наиболее ярко это выражено в средневозрастных насаждениях. Здесь долевое участие гладкокорых особей сократилось на 35 % по числу стволов и на 27 % по запасу стволовой древесины.

По типу ветвления выявлено наличие 3 форм ели (рис. 2). В результате оценки их встречаемости установлено, что на всех стадиях онтогенеза древостоев, за исключением молодняков, внутривидовые формы кроны представлены примерно в равном соотношении.



Рис. 2. Формы ели по типу ветвления

В молодняках наибольшее количество стволов имеют особи с плоским типом ветвления (42 %), в средневозрастных – с гребенчатым (54 %), в приспевающих и спелых – с щетковидным (38 и 44 % соответственно). Среди выделенных форм по производительности лидирующее положение занимают формы ели с гребенчатым и щетковидным типами ветвления. Долевое участие этих форм по запасу стволовой древесины превышает их представленность по числу стволов. В отличие от формового разнообразия по характеру строения коры, выраженного перехода от одной формы по кроне в другую с возрастом не выявлено. Статистическая обработка данных выполнена на 95-процентном уровне доверительной вероятности. Точность опыта при обработке данных по приспевающим и спелым древостоям находилась в пределах до 15 %. Достоверность полученных средних значений – более 4.

Лесоводственная оценка встречаемости формового разнообразия ели по стадиям онтогенеза древостоев выполнена по следующим таксационным показателям: средний диаметр D , высота H и объем ствола V (табл. 2). Все три типа ветвления имеют место у деревьев, различающихся по характеру строения коры. В молодняках преобладает гладкокорая форма коры с плоским типом ветвления (22 %). В средневозрастных и приспевающих насаждениях наибольшее количество особей характеризуется чешуйчатой корой с гребенчатым типом ветвления (23 и 14 % соответственно).

Таблица 2

Особенности роста внутривидовых форм ели

Форма коры и тип ветвления	Таксационные показатели по хозяйственным группам возраста											
	Молодняки			Средневозрастные			Приспевающие			Спелые		
	Средние		$V, \text{ м}^3$	Средние		$V, \text{ м}^3$	Средние		$V, \text{ м}^3$	Средние		$V, \text{ м}^3$
	$D, \text{ см}$	$H, \text{ м}$		$D, \text{ см}$	$H, \text{ м}$		$D, \text{ см}$	$H, \text{ м}$		$D, \text{ см}$	$H, \text{ м}$	
Гладкокорая:	8,8	10,7	0,038	14,1	12,0	0,103	22,0	19,9	0,431	20,4	20,8	0,294
плоский	8,2	10,0	0,027	14,8	12,3	0,099	21,5	19,9	0,405	16,0	17,0	0,173
гребенчатый	8,2	10,0	0,027	14,0	12,0	0,092	22,1	20,0	0,455	21,7	21,3	0,397
щетковидный	9,9	12,0	0,061	13,5	11,7	0,118	22,4	19,8	0,432	19,6	20,0	0,311
Чешуйчатокорая:	11,1	12,3	0,076	16,3	15,3	0,168	23,1	20,2	0,514	29,0	24,7	0,731
плоский	10,8	12,0	0,072	17,0	15,8	0,191	23,2	20,6	0,510	27,2	24,0	0,667
гребенчатый	10,8	12,0	0,072	16,0	15,0	0,156	23,7	20,0	0,563	29,0	24,5	0,821
щетковидный	11,8	13,0	0,084	16,0	15,0	0,156	22,4	20,0	0,469	28,2	24,0	0,704
Пластинчатокорая:	12,4	13,0	0,107	17,7	17,8	0,223	26,9	21,6	0,566	29,0	24,7	0,626
плоский	12,0	12,5	0,086	17,9	17,5	0,219	27,5	22,2	0,500	30,5	25,0	0,167
гребенчатый	12,7	13,8	0,124	16,5	17,0	0,196	26,5	21,4	0,515	28,0	24,0	0,750
щетковидный	12,5	13,5	0,112	18,6	19,0	0,255	26,8	21,3	0,682	25,5	23,4	0,960
Продольнотрещиноватокорая:	–	–	–	19,5	19,0	0,283	24,3	20,9	0,500	32,0	25,2	0,866
плоский	–	–	–	19,0	18,5	0,257	23,2	20,7	0,367	30,4	24,6	0,727
гребенчатый	–	–	–	20,0	19,5	0,304	25,6	21,3	0,614	32,6	25,0	0,964
щетковидный	–	–	–	19,5	19,0	0,289	24,2	22,6	0,519	33,0	26,0	0,906

Средний диаметр деревьев с гладкой корой меньше, чем у других форм. Далее, в порядке увеличения, по характеру строения коры следуют особи с чешуйчатой, пластинчатой и продольнотрещиноватой корой. По средним значениям высоты более высокие показатели имеют экземпляры ели с пластинчатой и продольнотрещиноватой корой. Максимальное значение ($H = 26,0 \text{ м}$)

получено для продольнотрещиноватой формы коры с щетковидным типом ветвления. Следует отметить, что эти формы имеют превосходство на всех стадиях онтогенеза древостоев. В целом на территории Вологодской области среди выделенных форм по характеру строения коры и типу ветвления превосходство имеют продольнотрещиноватокорые и пластинчатокорые формы с гребенчатым и щетковидными типами ветвления.

Для оценки роста и развития внутривидовых форм ели в спелых насаждениях установлено и их распределение по классам роста Крафта. Наибольшее количество деревьев гладкокорой ели сосредоточено в III классе. Менее половины входят в I и II классы роста. Чешуйчатокорая и пластинчатокорые формы занимают в большинстве своем господствующее положение в древесном пологе. Продольнотрещиноватокорая ель составляет в доминирующем большинстве верхний полог.

Более половины экземпляров с плоским типом ветвления характеризуются средними темпами роста. Лидерами здесь являются ели с гребенчатой и щетковидной кроной. В IV классе роста по Крафту эти особи имеют единичное распространение.

Исходя из годичной динамики радиального прироста, можно сделать вывод, что гладкокорая ель на ранней стадии онтогенеза характеризуется высокими темпами роста. В молодняках для этой формы зафиксированы максимальные значения. У других внутривидовых форм по характеру строения коры период достижения максимальных величин различен.

Кроме экологических условий произрастания, на изменчивость долевого участия гладкокорой ели оказывает влияние и возрастное строение древостоев. В разновозрастных ельниках эта форма наиболее представлена в сравнительно молодых возрастных поколениях. Экземпляры старших возрастов соответствуют чешуйчатому, пластинчатому и продольно-трещиноватому типу характера строения коры. Эти формы характеризуются довольно разными темпами роста не только в молодняках, но и на протяжении всего жизненного цикла.

Динамика радиального прироста всех выявленных форм ели по характеру строения коры отражается в чередовании подъемов и спадов ширины годичных слоев на протяжении всех стадий онтогенеза. Такой характер роста обусловлен влиянием климатических факторов, в первую очередь температурным режимом и выпадающими осадками.

Для исключения возрастных изменений нами рассчитаны индексы прироста путем деления абсолютной величины прироста каждого года на норму прироста за этот же год. Спектральный анализ полученных древесно-кольцевых хронологий по внутривидовому разнообразию ели (рис. 3) указывает на довольно большое количество циклов различной длительности.

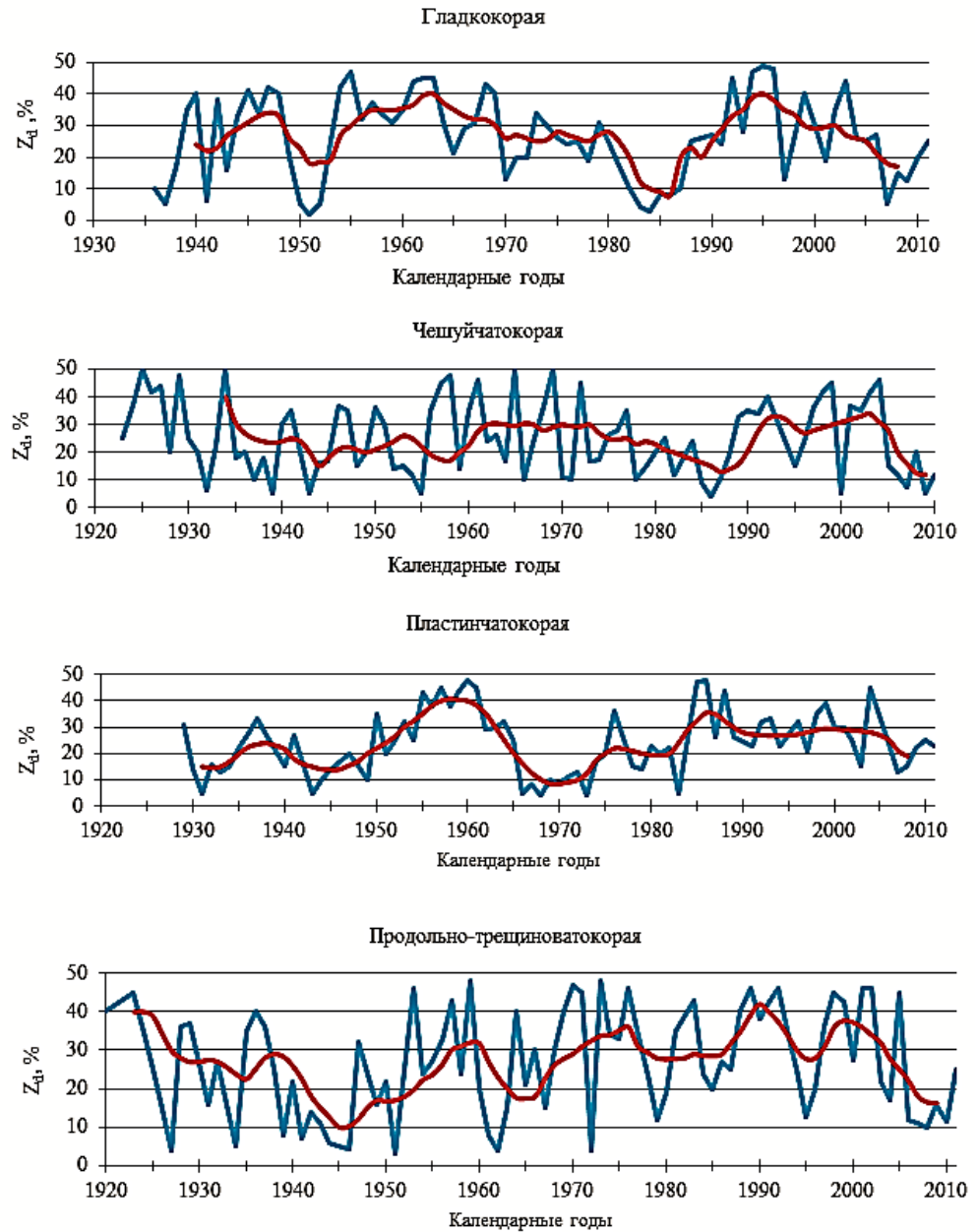


Рис. 3. Хронологии индексов радиального прироста и их цикличность у внутривидовых форм ели по характеру строения коры (синий цвет – ширина слоя; красный – сглаженная кривая)

Кривые спектральной плотности имеют много общего. Спектральный анализ показал, что в полученных древесно-кольцевых хронологиях содержится довольно большое количество циклов продолжительностью от 2 до 50 лет и амплитудой 2,5...7,5 %. При этом длительность коротких циклов в диапазоне до 11 лет имеет существенные различия по каждому биотипу. Коэффициент корреляции колеблется от 0,4 до 0,6, коэффициент синхронности – от 60 до 70 %.

Среди выделенных форм по характеру строения коры и типу ветвления превосходство по производительности имеют продольнотрещиноватокорые и пластинчатокорые формы с гребенчатым и щетковидными типами ветвления. Это позволяет сделать заключение, что эти формы являются наиболее перспективными в условиях Вологодской области для дальнейшего выращивания.

Выполненное исследование может служить основой для обоснования селективного метода отбора деревьев в рубку. При этом следует отметить, что реализовать этот подход необходимо со стадии средневозрастности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбенский А.В. Селекция древесных пород и семеноводство. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1959. 305 с.
2. Ирошников А.И. Развитие селекции лесных древесных пород в СССР // Достижения лесной селекции за 50 лет. Красноярск: Красн. кн. изд-во, 1967. С. 232–256.
3. Коновалов Н.А., Пугач Е.А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства / Под ред. Максимовой Ю.М. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 173 с.
4. Кундзиньши А.В., Гайлис Я.Я. Лесная селекция / Под ред. Андроновой Э.В. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 200 с.
5. Попов В.Я. Формы ели в лесах Прикамья и их селекционно-лесоводственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1971. 21 с.
6. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 178 с.
7. Сарнацкий В.В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.
8. Васильевич В.И. Ельники черничные Европейской России // Ботан. журн. 2004. Т. 89, № 1. С. 13–27.
9. Васильевич В.И. Ельники кисличные Европейской России // Ботан. журн. 2004. Т. 89, № 10. С. 1573–1587.
10. Barton В.М. Variation in the phenology of bud frushing in white and red spruce // Can. J. Forest Res. 1988. N 3. P. 315–319.

Поступила 09.06.15

UDC 630*165.61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.87

Fir Spruce Growth and Development Under the Influence of Intraspecific Polymorphism

Yu.I. Makarov, Postgraduate Student

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin,
Schmidt str., 2, Molochnoe, Vologda Region, 160555, Russian Federation;
e-mail: yury.makarov.1991@mail.ru

The researches carried out in the territory of Vologda region in the subzones of the southern and middle taiga in the sorrel and bilberry spruce stands were focused on the characteristics of intraspecific variation of fir spruce (*Picea abies*) which had been formed in the felling sites of previous years as well as the assessment of the their productivity and identification of the most promising for the cultivation intraspecific forms. Collecting of material and establishment of the sampling areas were carried out according to the requirements of the State Standard of the RF 16128–70, Industrial Standard of the RF 56-69–83 and guidelines of V.N. Sukachev and S.V. Zonn in the young, middle-aged, ripening and mature stands. The nature of the bark structure was determined at a breast height, the branching type – at the branches growing in the middle of the crown. We revealed 4 forms of spruce according to the nature of the bark structure: smooth, scaly, platelike and longitudinally fissured bark. With age there was a redistribution of forms occurrence due to the transformation of one form into another. More clearly the transformation was observed in the middle-aged plantings where the share of trees with smooth bark was reduced by 35 % in the number of stems and by 27 % – in the stock. We revealed 3 forms of spruce according to the branching type: flat, corymbose and comb-shaped. Spruce with corymbose and comb-shaped branching types was the most productive. All three branching types occurred at the trees with differing nature of the bark structure. The smooth form of bark with the flat branching type predominated in the young stands (22 %), the scaly forms with the comb-shaped branching type – in the middle-aged and ripening stands (23 % and 14 % respectively). The average diameter of trees with longitudinally fissured bark was longer than of the other forms. Trees with platelike and longitudinally fissured bark had higher indicators of average values of height. In general, the leaders in all indicators were the spruce forms with longitudinally fissured and platelike bark, corymbose and comb-shaped branching types. According to the Kraft dominance class distribution spruce with smooth bark was concentrated mostly in the III class; scaly and platelike forms occupied a dominant position, and longitudinally fissured form of bark made the predominant canopy. The results of the research can serve as a basis for the determination of promising forms of spruce for further cultivation and for the selective method of assortment of trees.

Keywords: type diversity, branching type, nature of the bark structure.

REFERENCES

1. Al'benskiy A.V. *Seleksiya drevesnykh porod i semenovodstvo* [Selection of Tree Species and Seed Breeding]. Moscow; Leningrad, 1959. 305 p.
2. Iroshnikov A.I. Razvitie seleksii lesnykh drevesnykh porod v SSSR [Development of Forest Wood Species Selection in the USSR]. *Dostizheniya lesnoy seleksii za 50 let* [Achievements of Forest Selection for 50 Years]. Krasnoyarsk, 1967, pp. 232–256.
3. Konovalov N.A., Pugach E.A. *Osnovy lesnoy seleksii i sortovogo semenovodstva* [Bases of Forest Selection and Seed Breeding]. Ed. by Yu.M. Maksimova. Moscow, 1978. 173 p.
4. Kundzin'sh A.V., Gaylis Ya.Ya. *Lesnaya seleksiya* [Forest Selection]. Ed. by E.V. Andronova. Moscow, 1972. 200 p.
5. Popov V.Ya. *Formy eli v lesakh Prikam'ya i ikh seleksionno-lesovodstvennoe znachenie: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Spruce Forms in the Forests of the Kama Region and Their Breeding and Silvicultural Value: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Sverdlovsk, 1971. 21 p.
6. Pravdin L.F. *El' evropeyskaya i el' sibirskaya v SSSR* [Fir Spruce and Siberian Spruce in the USSR] Moscow, 1975. 178 p.
7. Sarnatskiy V.V. *El'niki: formirovanie, povyshenie produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Spruce Forests: Formation, Increasing of Productivity and Sustainability in Belarus]. Minsk, 2009. 334 p.
8. Vasil'evich V.I. El'niki chernichnye Evropeyskoy Rossii [Bilberry Spruce Forests of European Russia]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2004, vol. 89, no. 1, pp. 13–27.
9. Vasil'evich V.I. El'niki kislichnye Evropeyskoy Rossii [Sorrel Spruce Forests of European Russia]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2004, vol. 89, no. 10, pp. 1573–1587.
10. Barton B.M. Variation in the Phenology of Bud Flushing in White and Red Spruce. *Can. J. Forest Res.*, 1988, no. 18(3), pp. 315–319.

Received on June 09, 2015



УДК 634.0.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.98

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВАЮЩЕГО ПАКЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

С.В. Посыпанов, канд. техн. наук, доц.

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

В связи с значительным повышением требований к экологической безопасности лесосплава, исключению потерь древесины при транспортировке ее по воде существенно возрастает важность правильной оценки прочностных характеристик лесотранспортных единиц, прежде всего их первичных элементов – пакетов круглых лесоматериалов, лесосплавных пучков. Актуальность темы также обусловлена появлением новых перспективных лесотранспортных единиц – пакетных пучков, прочностная оценка которых невозможна без основательного подхода к рассмотрению этого вопроса. Представленная в литературе информация по данной теме свидетельствует, что предлагаемые формулы имеют преимущественно эмпирический характер, неточно отражают физическую сущность явлений. Эмпирические формулы учитывают зависимость отдельных прочностных характеристик от тех или иных определяющих факторов, но не позволяют получить целостную картину. Результаты расчетов по различным формулам иногда существенно отличаются. Критерии прочностных характеристик пакета, по мнению автора, требуют пересмотра. При выполнении работы использован теоретический метод исследований с фрагментарной проверкой полученных аналитических зависимостей и положений на той части имеющегося материала экспериментального происхождения, которая наиболее достоверна. В результате проведенных исследований разработаны теоретические основы оценки прочностных характеристик плавающего пакета круглых лесоматериалов, получены аналитические зависимости для определения натяжений как в верхних, так и в нижних ветвях его обвязок. Взамен используемых прочностных характеристик плавающего пакета введены понятия его поперечной и продольной прочности, которые определяют прочность пакета в целом, предложен комплексный критерий для оценки продольной прочности плавающего пакета, получена аналитическая формула для его определения, даны рекомендации по его практическому применению. Результаты работы следует использовать при подборе обвязок пакетов круглых лесоматериалов, пучков и назначении геометрических параметров этих сплоченных единиц в целях обеспечения надлежащих прочностных характеристик. Кроме того, полученные материалы являются базой для разработки подхода к оценке прочностных характеристик новых сплоченных единиц – пакетных пучков.

Ключевые слова: лесосплав, круглые лесоматериалы, пакет, пучок, обвязка, прочность.

В настоящее время уделяется особое внимание экологической безопасности лесосплава, исключению потерь при транспортировке древесины по воде. В связи с этим возрастает важность правильной оценки прочностных характеристик лесотранспортных единиц, в том числе пакетов круглых лесоматериалов, лесосплавных пучков. Актуальность темы также обуславливает факт внедрения в производство новых перспективных лесотранспортных единиц – пакетных пучков [8], оценка прочностных характеристик которых также необходима, но она невозможна без основательного рассмотрения означенного вопроса. Учитывая, что пучок может представлять собой одиночный пакет или состоять из нескольких пакетов, далее будем использовать термин «пакет».

К прочностным характеристикам пакета согласно существующей ныне трактовке следует отнести его прочность и волноустойчивость. Под прочностью лесосплавного пакета понимается способность его обвязок обеспечивать сохранение формы пакета под действием сил распора лесоматериалов. Она характеризуется прочностью обвязок [6]. На наш взгляд, сводить прочность пакета только к прочности его обвязок не совсем верно. Даже в соответствии с приведенной формулировкой прочность предполагает сохранение формы пакета. Однако нарушение его формы (даже целостности) возможно при обеспечении необходимой прочности обвязок. При недостаточных силах распора в пакете его лесоматериалы под воздействием внешних факторов могут смещаться в продольном направлении относительно друг друга и относительно обвязок, что предполагает указанные негативные последствия.

Способность противостоять упомянутым продольным смещениям обычно характеризуется коэффициентом формы пакета C , равным отношению его ширины B к высоте H . Чем меньше коэффициент C , тем больше (при прочих равных условиях) усилия взаимодействия лесоматериалов пакета с обвязками и между собой и, соответственно, тем лучше лесоматериалы и обвязки удерживаются от относительных продольных смещений. Коэффициент C принято считать критерием волноустойчивости пакета, под которой понимается его способность противостоять выплыванию из него отдельных лесоматериалов при надлежащей прочности обвязок. Можно предположить, что при транспортировке древесины по средним и, особенно, по малым рекам, где волнение водной поверхности незначительно, критерий C является несущественным. В действительности это не так. Упомянутые продольные смещения возможны не только под воздействием волнения, но и в результате взаимодействий пакетов друг с другом, с наплавными сооружениями, береговыми откосами, дном водоема, механизмами, т. е. коэффициент C значим и при полном отсутствии волнения. На практике это обычно имеет вид.

Таким образом прочность лесосплавного пакета оценивают по прочности его обвязок и коэффициенту C . При очень значительном варьировании плотности лесоматериалов–древесины (ρ_d , кг/м³) учитывают еще и этот фактор. Например, если по техническим условиям для пакетов из еловых и сосно-

вых лесоматериалов максимально допустимое значение $C = 2,50$, то для пакетов из лиственных сортиментов на этом же маршруте $C = 1,75$ [4]. Отметим, что с помощью критерия C можно сравнивать прочности пакетов при условии одинаковой плотности лесоматериалов. При равных C возможно сопоставлять прочность пакетов с разными ρ_d . Комплексная количественная оценка прочности пакетов с учетом обоих факторов пока не используется.

В связи с изложенным выше необходимо: заменить названия и толкования прочностных характеристик лесосплавного пакета; уточнить соотношение значимости критериев C и ρ_d и оправданность применения одинаковых допустимых значений C для пакетов из лесоматериалов с отличающимися плотностями, например еловых и сосновых; установить влияние других факторов на прочность пакета; предложить комплексный количественный критерий прочности.

Считаем, что вместо используемых ныне понятий прочности и волноустойчивости пакета следует применять понятия его поперечной и продольной прочности, от которых зависит прочность пакета в целом. Поперечная прочность пакета характеризуется прочностью его обвязок, продольная – способностью противостоять продольному смещению составляющих его лесоматериалов относительно друг друга и обвязок.

Известно, что лесоматериалы в пакете лучше удерживаются от продольных смещений при большем натяжении обвязок. Учитывая это, используем известные выражения для определения натяжения в обвязках. В литературе для плавающего пакета преимущественно приводятся формулы для верхних ветвей обвязок, где суммарное натяжение R_B максимально. В справочнике [5] предлагается наиболее простая зависимость:

$$R_B = kmg, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности для пакетов на спокойной воде,

$$k = \frac{0,025}{C - 0,7}; \quad (2)$$

m – масса пакета, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Отметим, что в явном виде плотность лесоматериалов в выражении (1) не представлена. В источниках [2, 7] рекомендуется следующая формула:

$$R_B = 0,08mg \frac{2,7 + (4,4 - 7,1\rho_0)\rho_0}{5,9C - 5,05}, \quad (3)$$

где ρ_0 – относительная плотность лесоматериалов, $\rho_0 = \rho_d/\rho_B$;

ρ_B – плотность воды, кг/м³.

Если ввести обозначение

$$k = 0,08 \frac{2,7 + (4,4 - 7,1\rho_0)\rho_0}{5,9C - 5,05},$$

то формула (3) будет аналогична формуле (1).

Расчеты показывают, что при уменьшении C от 2,5 до 2,0 коэффициент k , а следовательно, и натяжение в верхних ветвях обвязок увеличивается на 44 %, при уменьшении от 3,0 до 2,0 – на 87 %. Снижение ρ_d от 850 до 700 кг/м³ приводит к увеличению k на 75 % при любых значениях C . Это свидетельствует о сопоставимой значимости рассматриваемых факторов и необходимости их комплексного учета при оценке прочности пакета.

Заметим, что приведенные формулы являются эмпирическими. Связь между натяжением обвязок и первичными факторами, изначально определяющими величину этого натяжения, в явном виде в этих формулах не отражена. Масса пакета, коэффициент формы – это факторы, производные от первичных. Согласно выражению (1) натяжение в обвязках прямо пропорционально массе пакета. Такое же заключение можно сделать и по формуле (3), если не обращать внимание на корректировку посредством ρ_0 . Но из практики известно, что при идентичности геометрических характеристик обвязки плавающего пакета из березы натянуты слабее, чем у пакета из еловых лесоматериалов, хотя масса первого больше.

В формулах (1) и (2) совсем не учитывается влияние ρ_d . При $C = 2,0 \dots 3,0$ они дают результаты, близкие к полученным по зависимости (3) только при $\rho_d = 800$ кг/м³. Вероятно, лишь для этих условий выражения (1) и (2) и получены. Рассмотренные выражения не могут быть использованы для ответов на поставленные выше вопросы. Приведенные здесь комментарии относятся и к реже используемым зависимостям.

Для получения аналитических формул, более явно и более многогранно отражающих зависимость интересующих нас величин от первичных факторов, обратимся к расчетным схемам, представленным на рис. 1.

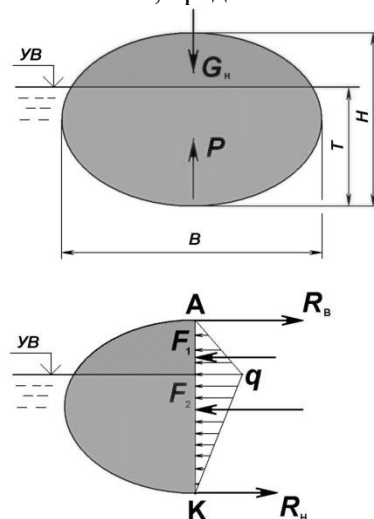


Рис.1. Расчетные схемы плавающего пакета

На лесоматериалы плавающего пакета, расположенные выше уровня воды, действует сила тяжести, на подводную часть лесоматериалов наряду с силой тяжести действует сила Архимеда. Равнодействующие внешних сил для надводной и подводной частей пакета обозначены соответственно G_H и P . Под действием этих сил происходит вертикальное сжатие пакета, в результате чего возникают силы распора, которые уравниваются реакциями в обвязках.

Рассмотрим усилия, действующие в наиболее высоком продольном вертикальном сечении пакета, делящем его на две равные части. При этом совокупность лесоматериалов пакета будем рассматривать как сыпучую среду [1, 9]. Вертикальное давление (p , Па) в этой среде (на рис. 1 не отражено) линейно возрастает по мере приближения к поверхности воды.

Для надводной части пакета имеем:

$$p = \rho_d \eta g h_B; \quad (4)$$

для подводной:

$$p = (\rho_B - \rho_d) \eta g h_H, \quad (5)$$

где η – коэффициент полнодревесности пакета [3, 6];

h_B и h_H – соответственно расстояние по вертикали от самой верхней и самой нижней точек пакета, м.

Известно, что горизонтальное давление (q , Па) пропорционально вертикальному p [10]:

$$q = p \lambda_a, \quad (6)$$

где λ_a – коэффициент активного давления.

С учетом выражений (4) и (6) равнодействующая сил распора для надводной части пакета

$$F_1 = 0,5 \rho_d \eta g \lambda_a (H - T)^2 L; \quad (7)$$

для подводной:

$$F_2 = 0,5 \rho_d \eta g \lambda_a (H - T) T L, \quad (8)$$

где H , T , L – соответственно высота, осадка и длина пакета, м.

Сумма моментов относительно точки А:

$$R_H H - \frac{2}{3} (H - T) F_1 - \left(H - \frac{2}{3} T \right) F_2 = 0; \quad (9)$$

относительно точки К:

$$F_1 \left(T + \frac{1}{3} (H - T) \right) + F_2 \frac{2}{3} T - R_B H = 0. \quad (10)$$

Осадку пакета выразим через его высоту:

$$T = H \rho_\zeta, \quad (11)$$

где ζ – коэффициент непропорциональности между осадкой и высотой пакета, $\zeta = 0,93 \dots 0,95$ [6].

Выразим из (9), (10) величины R_H и R_B , подставим вместо F_1 , F_2 и T правые части зависимостей (7), (8), (11) и после преобразований получим:

$$R_B = 0,5LH^2\eta\lambda_a g \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left((1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) + \frac{2}{3} \zeta^2 \rho_0^2 \right); \quad (12)$$

$$R_H = LH^2\eta\lambda_a g \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} (1 - \zeta \rho_0)^2 + 0,5 \zeta \rho_0 \left(1 - \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) \right), \quad (13)$$

В данном случае плотность воды ρ_B можно считать постоянной величиной. Коэффициент ζ меняется незначительно (0,93...0,95) и определяется плотностью лесоматериалов ρ_d , т. е. выражения в скобках в формулах (12), (13) зависят только от ρ_d .

Введем обозначения:

$$K_B = 0,5 \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left((1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) + \frac{2}{3} \zeta^2 \rho_0^2 \right); \quad (14)$$

$$K_H = \rho_d (1 - \zeta \rho_0) \left(\frac{1}{3} (1 - \zeta \rho_0)^2 + 0,5 \zeta \rho_0 \left(1 - \frac{2}{3} \zeta \rho_0 \right) \right). \quad (15)$$

Назовем K_B и K_H коэффициентами, учитывающими влияние плотности лесоматериалов соответственно для верхних и нижних ветвей обвязок. Эти коэффициенты могут быть определены по графикам (рис. 2). Перепишем выражения (12), (13) с учетом введенных обозначений:

$$R_B = H^2 L \eta \lambda_a K_B g; \quad (16)$$

$$R_H = H^2 L \eta \lambda_a K_H g. \quad (17)$$

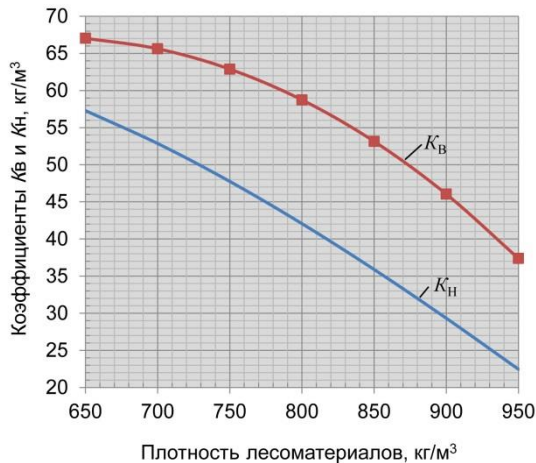


Рис. 2. Графики зависимостей коэффициентов K_B и K_H от плотности лесоматериалов

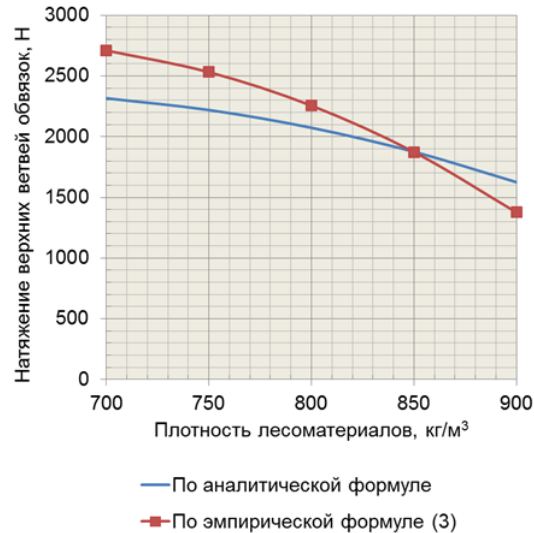


Рис. 3. Графики зависимостей натяжений в верхних ветвях обвязок от плотности лесоматериалов для плавающих пакетов при $L = 6$ м; $H = 1,6$ м; $\eta = 0,6$; $\varphi = 26^\circ$

Коэффициент λ_a для сыпучей среды может быть определен из выражения

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (18)$$

где φ – угол внутреннего трения сыпучей среды [9, 10].

Соотношение результатов расчетов по полученной нами аналитической формуле (16) и зависимости (3), заслуживающей, по нашему мнению, при отмеченных недостатках наибольшего доверия среди соответствующих эмпирических формул, наглядно отражено на рис. 3. Результаты вычислений по наиболее распространенным формулам (1) – (3) и другим реже используемым эмпирическим выражениям отличаются более существенно.

Полученные аналитические зависимости лишены обозначенных выше недостатков, свойственных рассмотренным эмпирическим формулам. Для выражения (17) аналоги вообще не обнаружены.

Заметим, что в формулах (16), (17) нет ширины пакета, его массы, коэффициента формы. Путем несложных преобразований из рассматриваемых зависимостей можно получить выражения, содержащие эти величины, но это на наш взгляд нецелесообразно. Расчеты при этом не упростятся, так как не только C , но обычно и m устанавливают вычислительным путем. При этом после указанных преобразований возможно искаженное толкование физического смысла зависимостей.

Ввиду того, что подбор сечений обвязок при известном их натяжении отражен в [2, 7] и не вызывает вопросов, нами он не рассматривается.

Ранее было отмечено, что способность противостоять относительному продольному смещению лесоматериалов в пакете может быть оценена по натяжению обвязок. Оценка будет более корректной, если учитывать сумму натяжений верхних и нижних ветвей. Чем она больше, тем больше контактные усилия между лесоматериалами. Величина контактных усилий, действующих на единицу сыпучей среды, зависит не только от указанных натяжений, но и от количества этих единиц, которое в данном случае правильнее характеризовать весом. Лесоматериалы от относительных продольных смещений удерживаются силами трения, которые пропорциональны контактным усилиям и коэффициенту трения при продольном перемещении лесоматериалов. С учетом изложенного введем критерий, характеризующий способность пакета удерживать лесоматериалы от относительных продольных смещений:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{(R_{\text{В}} + R_{\text{Н}})f}{mg}, \quad (19)$$

где f – коэффициент трения между лесоматериалами при продольном смещении.

Определим массу лесоматериалов в пакете:

$$m = \frac{\pi}{4} BHL\eta\rho_{\text{Д}}. \quad (20)$$

После подстановки в выражение (19) вместо $R_{\text{В}}$, $R_{\text{Н}}$, m правых частей формул (12), (13), (20) и выполнения алгебраических преобразований получим:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{2H(1 - \rho_0\zeta)f\lambda_{\text{а}}}{\pi B}, \quad (21)$$

Отношение B к H – есть коэффициент формы пакета C . С учетом этого, введя новое обозначение критерия после исключения постоянных, запишем:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{1 - \rho_0\zeta}{C} f\lambda_{\text{а}}. \quad (22)$$

Этот критерий назовем комплексным критерием продольной прочности плавающего пакета. Чем больше значение $K_{\text{ПР}}$, тем выше способность плавающего пакета удерживать составляющие его лесоматериалы от продольного относительного смещения. $K_{\text{ПР}}$ зависит от характеристики формы поперечного сечения пакета C и от характеристик составляющих его лесоматериалов ρ_0 и f . Коэффициент $\lambda_{\text{а}}$ в данном случае определяется углом внутреннего трения сыпучей среды φ , а коэффициент ζ – величиной ρ_0 , т. е. $\lambda_{\text{а}}$ и ζ также являются характеристиками лесоматериалов. Учитывая это, введем обозначение:

$$k_{\text{ЛМ}} = (1 - \rho_0\zeta) f\lambda_{\text{а}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{ЛМ}}$ – параметр, учитывающий характеристики лесоматериалов.

Значения $k_{\text{ЛМ}}$ для наиболее часто сплавляемых пород древесины представлены в таблице .

Порода древесины	Значения $k_{\text{ЛМ}} \cdot 10^2$ по месяцам года*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ель	1,86	1,80	1,92	2,19	2,33	2,28	2,33	2,45	2,16	2,29	2,34	1,86
Ель тонкомерная	1,22	1,33	1,38	1,51	1,69	1,84	1,86	1,86	1,77	1,63	1,51	1,42
Сосна	2,02	1,92	1,82	1,75	1,95	1,99	1,95	2,09	1,99	1,75	1,59	1,59
Сосна тонкомерная	1,20	1,23	1,47	1,51	1,56	2,91	1,56	1,49	1,43	1,30	1,20	1,17

*Для свежесрубленной древесины.

Изменение параметра $k_{\text{ЛМ}}$ по месяцам связано с зависимостью плотности лесоматериалов от времени рубки.

Если перед сплавом лесоматериалы подвергаются сушке (что маловероятно), $k_{\text{ЛМ}}$ следует определять по формуле (23).

С учетом выражения (23) $K_{\text{ПР}}$ может быть представлен в виде следующего соотношения:

$$K_{\text{ПР}} = \frac{k_{\text{ЛМ}}}{C}. \quad (24)$$

При установлении допустимых значений коэффициентов C на определенном маршруте буксировки, на наш взгляд, следует обеспечить равенство $K_{\text{ПР}}$ для пакетов из разных сортиментов. Например, если пакет из елового пиловочника декабрьской заготовки имеет коэффициент формы, равный 2,5, то $K_{\text{ПР}} = 1,86 \cdot 10^{-2} / 2,5 = 0,744 \cdot 10^{-2}$. Для пакета соснового пиловочника того же месяца заготовки при обеспечении равнопрочности коэффициент формы $C = 1,59 \cdot 10^{-2} / 0,744 \cdot 10^{-2} = 2,1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуханов А.З. Механика грунтов: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 352 с.
2. Инструкция по эксплуатации такелажа на лесосплаве. М.: ВНИПИЭИЛеспром, 1980. 134 с.
3. Камусин А.А., Дмитриев Ю.Я., Минаев А.Н., Овчинников М.М., Пятакин В.И., Пименов А.Н., Полищук В.П. Водный транспорт леса: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГУЛ, 2000. 432 с.
4. Правила (технические условия) сплотки, формирования и оснастки плотов для буксировки в Северодвинском бассейне. Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 1989. 65 с.
5. Справочник по водному транспорту леса / Под ред. В.А. Щербакова. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 384 с.
6. Суров Г.Я., Посыпанов С.В., Зунин Л.Н. Плотовой лесосплав: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 155 с.

7. Суров Г.Я., Посыпанов С.В., Зунин Л.Н. Лесосплавной такелаж и такелажные работы: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 138 с.
8. Харитонов В.Я., Посыпанов С.В. Опыт внедрения единого транспортного пакета вместо молевого лесосплава // Лесн. журн. 2007. №1. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Craig R.F. Soil Mechanics. 6th ed. London, New York: E & FN Spon, 1997. 485 p.
10. Verruijt A. Soil Mechanics. Delft University of Technology, 2012. 331 p.

Поступила 26.12.15

UDC 634.0.378

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.98

Comprehensive Assessment of the Strength Characteristics of a Floating Roundwood Bundle

S.V. Posypanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya
Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: s.posypanov@narfu.ru

Due to the significant increase of the ecological safety requirements in timber floating, elimination of wood losses during the transportation by water, the importance of a correct evaluation of the strength characteristics of the timber-rafting units and their primary elements – roundwood bundles and logging bundles, is of prime concern. The relevance of the topic is due to the emergence of the new promising timber-rafting units – packaged bundles. Their strength assessment is impossible without a thorough approach to this issue. The relevant information available in the publications demonstrates that the proposed formulas are mainly empirical and do not sufficiently reflect the physical nature of the phenomena. The empirical formulae disclose the dependence of the particular strength characteristics on the determining factors, but do not provide a coherent view. The results of calculations by the various formulas are sometimes significantly different. The criteria of the strength characteristics of a log bundle need to be revised. The author has used a theoretical research method with a partial verification of derived experimental dependencies and provisions on the part of the existing material of experimental origin, which is the most reliable. As a result of the research, the theoretical foundation of the strength characteristics of a floating roundwood bundle is developed. The analytic dependences for the tension determination in the upper and lower branches of binding are obtained. The new concepts of transverse and longitudinal strength of a floating bundle are introduced, which determine the strength of a bundle as a whole. An integrated criterion and an analytical formula for the longitudinal strength assessing of a floating bundle are provided. We present the recommendations on its practical application. The results should be applied in the selection of the roundwood bundles binding, and determination of the geometric parameters of the float units to ensure the adequate strength characteristics. These materials are the basis for the development of an approach to the estimation of the strength characteristics of the new float units – the packaged bundles.

Keywords: wood floating, round wood, bunch, bundle, binding, strength.

REFERENCES

1. Abukhanov A.Z. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Rostov-on-Don, 2006. 352 p.
2. *Instruktsiya po ekspluatatsii takelazha na lesosplave* [Instructions on the Timber Floating Rigging]. Moscow, 1980. 134 p.
3. Kamusin A.A., Dmitriev Yu.Ya., Minaev A.N., Ovchinnikov M.M., Patyakin V.I., Pimenov A.N., Polishchuk V.P. *Vodnyy transport lesa* [Water Log Movement]. Moscow, 2000. 432 p.
4. *Pravila (tehnicheskie usloviya) splotki, formirovaniya i osnastki plotov dlya buksirovki v Severodvinskom bassejne* [The Rules (Technical Regulations) of Wood Bundling, Forming and Rigging of Rafts for Towing in the North Dvina Basin]. Arkhangelsk, 1989. 65 p.
5. *Spravochnik po vodnomu transportu lesa* [The Guide on Water Log Movement]. Moscow, 1986. 384 p.
6. Surov G.Ya., Posypanov S.V., Zunin L.N. *Plotovoy lesosplav* [Rafting]. Arkhangelsk, 2007. 155 p.
7. Surov G.Ya., Posypanov S.V., Zunin L.N. *Lesosplavnoy takelazh i takelazhnye raboty* [Logging Rigging]. Arkhangelsk. 2008. 138 p.
8. Kharitonov V.Ya., Posypanov S.V. Opyt vnedreniya edinogo transportnogo paketa vmesto molevogo lesosplava [The Implementation of the Unit-Load Bundle Instead of Drift Floating]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 1, pp. 45–52.
9. Craig R.F. *Soil Mechanics*. London; New York, 1997. 485 p.
10. Verruijt A. *Soil Mechanics*. Netherlands, Delft, 2012. 331 p.

Received on December 26, 2015

УДК 656

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.109

МЕТОДОЛОГИЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДРЕВОСТОЕВ И ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДРЕВЕСИНЫ

С.П. Санников, канд. техн. наук, доц., вед. науч. сотр.

Э.Ф. Герц, д-р техн. наук, проф.

А.А. Дьячкова, асп.

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: SSP-54@mail.ru, gerz.e@mail.ru, krasnowaanna@mail.ru

Предложена система дистанционного мониторинга, основанная на радиочастотной идентификации с использованием Radio Frequency Identification (RFID) меток. При мониторинге древостоев и перемещении древесины применяют информационные технологии сбора и переработки данных о состоянии древостоя и происхождении древесины. Цель работы – показать возможность использования радиочастотной технологии мониторинга древостоев и перемещения древесины по дорогам федерального и регионального значения. Основной задачей является установление технических возможностей радиочастотной идентификации в технологии лесопользования, а также определение основных критериев дистанционного контроля для оперативного управления лесным хозяйством и лесозаготовками в рамках устойчивого лесопользования. В работе использованы методы математического моделирования распространения радиоволны в лесу, которые содержат инструмент для практической реализации данной концепции. Нами исследованы и оценены возможные особенности и варианты применения RFID устройств при дистанционном мониторинге древостоев и перемещении круглых лесоматериалов. Результаты, поясняющие методологию контроля перемещения лесоматериалов, представлены в виде графиков и формул. Рассмотрен ряд возможных направлений по применению RFID меток: автоматизированный контроль в целях предотвращения незаконной рубки отдельных лесных массивов, имеющих значительную коммерческую ценность; информационное обеспечение поставок и сохранности лесоматериалов с одновременным контролем законности их происхождения; раннее предупреждение пожаров; закладка постоянных пробных площадей с формированием «персонифицированной» базы данных таксационных характеристик; автоматизированный учет и таксация ресурсов древесины на локализованных участках леса; навигация в системах управления технологическими машинами при реализации рубок, в том числе выборочных. Предлагаемый контроль древостоев на корню использует информационные технологии сбора и переработки данных о их состоянии, а также данные о происхождении перемещаемых лесоматериалов.

Ключевые слова: незаконная рубка, мониторинг древостоя, контроль законности происхождения, перемещение древесины, RFID метки, радиочастотная идентификация.

Незаконные рубки в реалиях современной России достигли невиданных ранее масштабов. Фактический ущерб, наносимый стране, огромен и составляет в настоящее время 27 % от объема рубок [4]. Это свидетельствует о

необходимости дополнительных мер, направленных на их радикальное снижение в кратчайшие сроки.

Анализ существующих современных способов и методов мониторинга лесов (таких как аэрокосмический контроль, видеонаблюдение и патрулирование лесов) показал их недостаточность для предотвращения незаконных рубок. В большинстве случаев факты незаконной рубки устанавливаются по истечении времени, причем даже в случаях переруба, как это показано на рис. 1. Процедура установления исполнителя и времени незаконной рубки достаточно сложна. Фиксация переруба лесосеки с использованием аэрокосмических снимков вызывает затруднения. Причина в том, что большинство из них имеют разрешение 5,0...10,0 м и служат в качестве индикатора состояния участка (есть изменения или нет), другая часть снимков имеет чуть большее разрешение – 2,0...5,0 м, снимков с необходимым разрешением 0,5...1,0 м мало из-за их высокой стоимости.



Рис. 1. Фрагмент аэрокосмической съемки лесного фонда

В работе [7] предложена методика расчета площади и границ вырубок по материалам съемки в целях установления недорубов или перерубов. Методикой предусмотрен параметр, зависящий от площади вырубок, а также коэффициент, зависящий от формы вырубки (круг, квадрат, длинный узкий участок). Так, для расчета ошибки площади узких полос вырубок эта формула становится бессмысленной в силу того, что числитель во всех случаях обращается в ноль, т. е. ошибка всегда равна нулю. Таким образом, с помощью аэрокосмического мониторинга рубок в этом случае невозможно получить достоверные результаты.

Дополнительным инструментом, позволяющим контролировать происхождение древесины и ее законность, может быть контроль перемещения

круглых лесоматериалов с использованием технических средств. Такими средствами могут служить устройства, сконструированные с использованием RFID (Radio Frequency Identification) метки с расширенными функциональными возможностями.

Использование RFID меток в мониторинге и хозяйственном освоении лесов имеет широкие перспективы. Наиболее востребованными в лесном комплексе являются следующие функции информационных систем на основе RFID меток (рис. 2):

автоматизированный контроль в целях предотвращения незаконной рубки отдельных лесных массивов, имеющих значительную коммерческую ценность;

информационное обеспечение поставок и сохранности лесоматериалов с одновременным контролем законности их происхождения [5];

раннее предупреждение пожаров [2, 3];

закладка постоянных пробных площадей с формированием «персонафицированной» базы данных таксационных характеристик;

автоматизированный учет и таксация ресурсов древесины на локализованных участках леса;

навигация в системах управления технологическими машинами при реализации рубок, в том числе выборочных [1].



Рис. 2. Основные функции информационной системы мониторинга в лесном комплексе на основе RFID меток

Реализация каждой из перечисленных функций может осуществляться в рамках локальных территориальных и функциональных систем, для которых необходимы, прежде всего, подсистемы фиксации контролируемых параметров, их передачи, систематизации и хранения.

Задача фиксации, а значит, и предотвращения незаконных рубок реализуется как первой, так и второй из перечисленных выше функций системы мониторинга. Каждое из направлений заслуживает отдельного внимания и исследования. Экологические и таксационные исследования, а также раннее предупреждение о лесных пожарах не являются темой настоящей работы. Поэтому рассмотрим методологию мониторинга заготовки и перемещения лесоматериалов с использованием RFID технологии.

Для этого предлагается новый методологический подход решения проблемы незаконных рубок и перемещений круглых лесоматериалов с использованием автоматизированного контроля отдельных лесных массивов, имеющих значительную коммерческую ценность, и информационного обеспечения поставок и сохранности лесоматериалов с одновременным контролем законности их происхождения с применением RFID меток.

Такой подход к мониторингу рубки леса с дальнейшим контролем перемещения заготовленной древесины при использовании RFID меток предполагает их скрытную установку на стволах деревьев [2]. Такой способ мониторинга лесоматериалов можно назвать «персонализированным». Рассматриваются несколько вариантов и способов установки RFID меток и устройств для считывания их сигналов.

Первый способ предполагает скрытную установку RFID устройств на деревья, подлежащие и не подлежащие рубке, например при проведении выборочных рубок по отпускному диаметру, когда метка содержит информацию о диаметре дерева и отпускном диаметре. После рубки при транспортировке считывающие устройства фиксируют код метки, который сравнивается с базой данных. Считывающее устройство способно одновременно считать несколько десятков (20...30 шт.) RFID меток при скорости движения транспортного средства 40...60 км/ч. Если код в базе данных помечен в рубку, то дальнейшая транспортировка разрешена, если информация со считывателя не подтверждается, то необходимы соответствующие меры для пресечения транспортировки груза.

При наличии взвешивания автопоезда с грузом можно в общей массе перемещаемой древесины установить долю круглых лесоматериалов, не имеющих RFID меток:

$$m_{\text{общ}} = -[m_a + m_r] = -\left[m_a + \sum_{i=1}^n (V_i \rho_d) \right],$$

где $m_{\text{общ}}$, m_a , m_r – соответственно общая масса автопоезда с грузом, масса автопоезда и масса транспортируемой древесины;

V_i – объем i -го хлыста в транспортном пакете;

n – общее количество хлыстов в транспортном пакете;

ρ_d – средняя плотность древесины по породам и времени года.

Знак минус в формуле указывает на возможность использования в расчетах метода балансов. При идеальных условиях результат должен быть равен нулю. Величину допустимой погрешности еще предстоит определить по завершению экспериментальных исследований.

Второй способ предполагает мониторинг древостоя за пределами участка (выдела), отведенного в рубку, с применением RFID меток, код которых несет информацию о их статусе: «не отведено в рубку». В этом случае считыватели будут фиксировать наличие круглых лесоматериалов, не входящих в базу данных, подлежащих рубке. Таким образом, при перемещении круглых лесоматериалов транспортным средством выявится факт их незаконной заготовки, а в случае установки меток на всех деревьях может быть рассчитан их объем:

$$n_{\text{нс}} = n - n_{\text{зс}},$$

где $n_{\text{нс}}$, $n_{\text{зс}}$, – количество сортиментов, спиленных незаконно и законно.

Рассмотренные способы предполагают наличие на дорогах постов, оборудованных сканерами для сканирования в непрерывном режиме и передачи сигнала о перевозке незаконных грузов (древесины) службам дорожно-постовой и лесной охраны.

Третий способ основан на методе радиочастотного томографического исследования участка леса активными RFID устройствами [6]. Одни точечные активные RFID устройства образуют сеть беспроводных датчиков, устанавливаемых по периметру лесосеки или за ее границами, и инициализируется по определенному алгоритму (в определенном порядке), другие принимают сигнал. На величину полученного сигнала оказывает влияние структура древостоя. Накладывая все полученные сигналы на координатную сетку, получаем картину, характеризующую данный участок лесного массива. Таким образом, будем иметь уникальную картину электромагнитной плотности, принадлежащей только данному участку. Модель, иллюстрирующая принцип действия радиочастотного томографического исследования участка леса активными RFID устройствами, приведена на рис. 3. Радиочастотный сигнал, ослабленный деревом, поступает на радиоприемники с номерами 1–8 и n , работающие на частоте RFID устройств.

Величина радиочастотного сигнала соответствует электромагнитной плотности в точке, где установлен RFID приемник. Сигнал на приемниках с номерами 1, 2, 3, 7, 8 и n принимается без ослабления, приемники с номерами 4–6 принимают RFID сигнал, ослабленный деревом, так как дерево рассеивает электромагнитную составляющую радиосигнала RFID устройств. Величина ослабления радиосигнала зависит от длины волны, размеров дерева, характеристик поверхности ствола дерева и внешних природных условий.

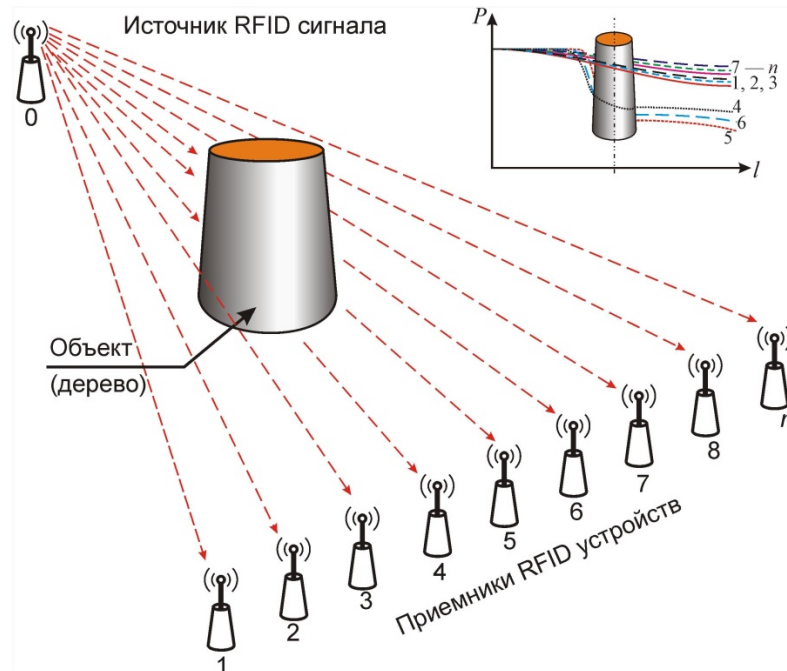


Рис. 3. Принцип действия радиочастотного томографического исследования участка леса активными RFID устройствами

Деревья с гладкой корой будут отражать радиосигнал, а деревья с рыхлой корой – в той или иной мере поглощают его. Степень поглощения или отражения энергии электромагнитных волн зависит от диэлектрической проницаемости древесного материала, влажности и температуры окружающей среды. Внешняя среда одинаково влияет на все RFID устройства, поэтому корректировку данных можно производить, вводя в алгоритм расчета коэффициент, предварительно его измеряя. Этот способ мониторинга позволяет фиксировать изменение сигнала, а значит и факт рубок, при периодическом сканировании участка органами лесной охраны. Временной отрезок между циклами томографического обследования участка с показателями, свидетельствующими о возможности несанкционированной рубки, определяет точность установления времени рубки, а сам факт предполагает необходимость визуального осмотра участка для принятия решения о последующих шагах.

Таким образом, приведенные направления в методологии дистанционного мониторинга леса для предотвращения незаконной рубки позволяют не только контролировать участки древостоя, подверженные риску незаконной рубки, в режиме реального времени, но и автоматизировать процессы сбора и обработки информации о древостоях и перемещаемых лесоматериалах, используя современные сетевые технологии, а также контролировать перемещение и законность происхождения древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Санников С.П. Автоматизированная система наведения манипулятора на дерево// Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы Междунар. науч.-практ. форума, 25-26 окт. 2012 г., г. Хабаровск. Хабаровск, 2013. С. 67–70.
2. Лисиенко В.Г., Герц Э.Ф., Шлеймович Е.М., Санников С.П., Шупилов В.В., Сулова С.С., Сулов Д.Г. Система раннего предупреждения пожаров на основе мониторинга лесов// Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2013. № 6. С. 127–130.
3. Лисиенко В.Г., Санников С.П. Система обнаружения лесного пожара: пат. РФ № 2492891. 2013. Бюл. № 26.
4. Масляков В.Н. Основные итоги работы лесного хозяйства Российской Федерации в 2010 году и задачи на 2011 год. Режим доступа URL: [http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/57/ Maslyakov_V.N._Sankt-Peterburg.pdf](http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/57/Maslyakov_V.N._Sankt-Peterburg.pdf) (дата обращения: 15.11.2014).
5. Санников С.П., Герц Э.Ф., Шупилов В.В., Серков П.А. Моделирование системы мониторинга перемещения лесосырьевых потоков и пожаров на основе синергетической сети RFID датчиков// Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № S2. С. 104–110.
6. Санников С.П., Серебренников М.Ю., Серков П.А. Влияние анизотропных характеристик леса на распространение радиочастотного сигнала RFID метки// Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. Режим доступа URL: www.science-education.ru/108-8623 (дата обращения: 19.03.2013).
7. Шимов С.В., Никитина Ю.В. Технология мониторинга вырубок леса с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения// Гео-матика. 2011. № 3. С. 47–52.

Поступила 09.12.15

UDC 656

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.109

Methodology of Remote Monitoring of Forest Stands and Transport Wood Flows

*S.P. Sannikov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Senior Research Scientist*

E.F. Gerts, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.A. D'yachkova, Postgraduate Student

Ural State Forest Engineering University, Sibirsky tract, 37, Yekaterinburg, 620100,
Russian Federation; e-mail: SSP-54@mail.ru, gerz.e@mail.ru, krasnowaanna@mail.ru

The paper presents a remote monitoring system based on the radio-frequency identification with the use of the Radio Frequency Identification (RFID) tags. When stand monitoring and timber transfer we use the information technology of data acquisition and processing about the state of a stand and wood origin. The purpose of the work is the use of the RFID technology for forest stands monitoring and timber transfer by the federal and regional roads. The main objective is to establish the technical capabilities of the RFID technology in the forest management, as well as the identification of the main criteria of remote monitoring for the operational forest management and logging in the framework of sustainable forest management. We use the methods of mathematical modeling of the radio waves in a forest, which contain a tool for the practical implementation of this concept. We have investigated and evaluated the possible features and applications of the RFID devices for remote moni-

toring of the forest stands and round wood. The results explaining the methodology of the timber transfer control are presented in the form of graphs and formulas. The paper considers a number of feasible directions in the use of the RFID tags: an automated control to prevent the illegal felling of certain forest areas of significant commercial value; informational provision and supply of safety of wood with a simultaneous legality checking of origin; early fire prevention; establishment of the permanent samples with the formation of a “personified” database of the survivor characteristics; automated accounting and valuation of wood resources in the localized areas of a forest; navigation in the control systems of production machines in felling, including selective cutting. The proposed control of the standing crops uses the informational technologies of data acquisition and processing about their condition, as well as data of the transported timber origin.

Keywords: illegal felling, stand monitoring, legality checking of origin, timber transfer, RFID tag, radio frequency identification.

REFERENCES

1. Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Sannikov S.P. Avtomatizirovannaya sistema navedeniya manipulyatora na derevo [The Loader Automated Guidance System at a Tree]. *Prirodnye resursy i ekologiya Dal'nevostochnogo regiona: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma, 25-26 okt. 2012 g., Khabarovsk* [Natural Resources and Ecology of the Far East Region: Proc. Int. Sci. Prac. Forum, October 25–26, 2012, Khabarovsk]. Khabarovsk, 2013, pp. 67–70.
2. Lisienko V.G., Gerts E.F., Shleymovich E.M., Sannikov S.P., Shipilov V.V., Suslova S.S., Suslov D.G. Sistema rannego preduprezhdeniya pozharov na osnove monitoringa lesov [The System of Early Fire Prevention Based on the Forest Monitoring]. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnikh resursov*, 2013, no. 6, pp. 127–130.
3. Lisienko V.G., Sannikov S.P. *Sistema obnaruzheniya lesnogo pozhara* [Forest Fire Detection System]. Patent RF, no. 2492891, 2013.
4. Maslyakov V.N. *Osnovnye itogi raboty lesnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii v 2010 godu i zadachi na 2011 god* [The Highlights of the Forestry of the Russian Federation in 2010 and the Tasks for 2011]. Available at: http://www.rosleshoz.gov.ru/media/appearance/57/Maslyakov_V.N._Sankt-Peterburg.pdf (accessed 15.11.2014).
5. Sannikov S.P., Gerts E.F., Shipilov V.V., Serkov P.A. Modelirovanie sistemy monitoringa peremeshcheniya lesosyr'evykh potokov i pozharov na osnove sinergeticheskoy seti RFID datchikov [Monitoring System Simulation of Timber Flows and Fires on the Basis of a Synergistic Network of the RFID Sensors]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. S2, pp. 104–110.
6. Sannikov S.P., Serebrennikov M.Yu., Serkov P.A. Vliyanie anizotropnykh kharakteristik lesa na rasprostraneniye radiochastotnogo signala RFID metki [Influence of the Forest Anisotropic Characteristics on the Distribution of the RFID Tag Radio-Frequency Signal]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 2. Available at: www.science-education.ru/108-8623 (accessed 03.19.2013).
7. Shimov S.V., Nikitina Yu.V. Tekhnologiya monitoringa vyrubok lesa s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya [Deforestation Monitoring Technology with the Use of the High Spatial Resolution Satellite Images]. *Geomatika* [Geomatics], 2011, no. 3, pp. 47–52.

Received on December 09, 2015



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.117

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ В МЕЖЗУБОВЫХ ВПАДИНАХ
ЛЕНТОЧНОЙ ПИЛЫ ПРИ ЕЕ НАТЯЖЕНИИ**

Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук, проф.

О.Л. Коваленко, асп.

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

Выход из строя пил из-за усталостных явлений – наиболее частая причина простоев ленточнопильных станков. Образование трещин в межзубовых впадинах пил при работе не только снижает производительность ленточнопильных станков, но и увеличивает затраты на приобретение и подготовку пил, создает опасность для обслуживающих станок работников. Большое влияние на усталостную прочность ленточных пил оказывают параметры межзубовых впадин, которые являются концентраторами напряжений. Для оценки прочности ленточных пил необходимо знать коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил от их изгиба на шкивах и натяжения. Знание этих коэффициентов позволяет определить эквивалентный коэффициент концентрации напряжений и рассчитать коэффициент запаса прочности пил. Ранее авторами были определены теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе ленточной пилы и коэффициент чувствительности материала пилы. В данной работе дано описание опытов по определению теоретического коэффициента концентрации напряжений при натяжении пилы. Образец ленточной пилы закрепляли в захватах универсальной испытательной машины TIME WDW 200E. Путем вертикального перемещения верхнего захвата производили натяжение образца пилы. На середине свободной длины образца были зафиксированы 5 тензорезисторов: один в непосредственной близости от межзубовой впадины, остальные на равных расстояниях по ширине образца пилы. Напряжения характеризовались величиной электрического напряжения в милливольттах, определяемого по вольтметру. Получен теоретический коэффициент концентрации напряжений при натяжении пилы, равный 1,62. При коэффициенте чувствительности материала (сталь 9ХФ) пилы, равном 0,85, определенного авторами ранее, действительный коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах при натяжении пилы составил 1,53.

Ключевые слова: ленточная пила, усталостные трещины, коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах, коэффициент чувствительности материала ленточных пил, коэффициент запаса прочности ленточных пил.

Для повышения производительности ленточнопильных станков необходимо повышать коэффициент использования рабочего времени K_p , равный отношению машинного времени (времени работы) ленточнопильного станка в течение смены к полному времени смены. Выход из строя ленточных пил – наиболее частая причина простоев станка. Многочисленными наблюдениями [1, 2, 4, 5, 7–9] установлено, что разрушение ленточных пил носит усталостный характер. Это не только снижает производительность станка, но и увеличивает трудозатраты на приобретение и подготовку пил, создает опасность для обслуживающего станок персонала.

В работах [1, 7, 8] дан анализ напряжений от изгиба пил на шкивах, от натяжения, центробежных сил инерции, сил резания, вальцевания, наклона шкивов, температурного перепада по ширине пилы, концентраторов напряжений. При этом основными напряжениями в пиле являются напряжения изгиба и растяжения, которые составляют более 80 % от всех суммарных напряжений в пиле при работе [5].

Большое влияние на усталостную прочность ленточных пил оказывают параметры межзубовых впадин, которые являются концентраторами напряжений. Определение коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе и натяжении рассматривалось в [2, 6, 9]. Однако эти исследования выполнены на образцах, параметры которых отличаются от параметров стандартных делительных ленточных пил.

Долговечность ленточной пилы считается обеспеченной, если коэффициент запаса прочности n не меньше требуемого $[n]$, т. е. если $n > [n]$. Требуемый коэффициент запаса прочности $[n] = 2$ [5]. В этой работе приводится следующая формула для определения коэффициента запаса прочности ленточной пилы:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_b}{\beta \sigma_{-1N}} \left[\frac{k_3 \sigma_b}{2} \left(\frac{\sigma_n}{2} + \Delta \sigma_n \right) + \left(\frac{\sigma_n}{2} + \sigma_n \right) \right]}, \quad (1)$$

где σ_b – предел прочности материала пилы, МПа;

k_3 – эквивалентный коэффициент концентрации напряжений [1],

$$k_3 = \frac{k_n \sigma_n + k_{\sigma_n} \sigma_n}{\sigma_n + \sigma_n}; \quad (2)$$

k_n, k_{σ_n} – коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе и натяжении пилы;

σ_n, σ_n – напряжения от изгиба и натяжения пилы на шкивах, МПа;

β – коэффициент, учитывающий влияние качества обработки поверхности межзубовых впадин;

σ_{-1N} – предел ограниченной выносливости, МПа;

$\Delta \sigma_n$ – изменение натяжения пилы, вызванное радиальным биением шкивов, МПа.

Как видно из формулы (2), k_3 зависит от коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах при изгибе $k_{и}$ и натяжении пилы $k_{нт}$, а также от напряжений $\sigma_{и}$ и $\sigma_{нт}$.

Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе рассмотрено в [6]. При определении коэффициентов $k_{и}$ и $k_{нт}$ была выбрана ленточная пила толщиной $S = 1,2$ мм, шириной $B = 125$ мм (высота зубьев 10 мм, шаг зубьев $t = 30$ мм, радиус закругления межзубовой впадины $R = 5$ мм). По ГОСТ 6532–77 пила с такими параметрами обозначается 3405-0032. Качество подготовки зубьев пил соответствовало технологическим режимам РИ 04-00 [3]. Выбор пилы объясняется тем, что она применяется в делительных ленточнопильных станках для распиловки толстых пиломатериалов на тонкие, для продольной распиловки горбылей, а также в ленточнопильных станках с криволинейными аэростатическими направляющими [5], работы по использованию которых ведутся в САФУ. Нами [6] определены теоретический (нижний индекс «т») и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при изгибе (нижний индекс «и»). Это позволило рассчитать коэффициент чувствительности материала ленточной пилы:

$$q = \frac{k_{и} - 1}{k_{нт} - 1} = \frac{1,23 - 1}{1,27 - 1} = 0,85.$$

Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах при натяжении ленточной пилы выполнено на экспериментальной установке, основу которой составляла универсальная электромеханическая испытательная машина с компьютерным управлением TIME WDW 200E. Общий вид установки приведен на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка для определения коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при ее растяжении

Образец ленточной пилы длиной 330 мм закрепляли в захватах установки. Путем вертикального перемещения верхнего захвата производили натяжение образца пилы. На середине свободной длины образца (на середине расстояния между захватами) с помощью бакелито-фенольного клея БФ-2 приклеивали 5 проволочных тензорезисторов марки ПКБ-20-200.

Один из них размещали в непосредственной близости от межзубовой впадины, остальные были закреплены на равных расстояниях по ширине пилы (рис. 2).

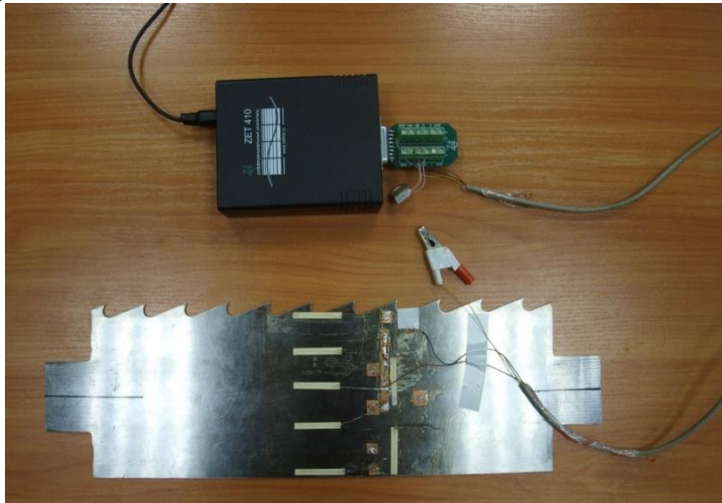


Рис. 2. Образец ленточной пилы с наклеенными тензорезисторами

Электрическая схема для определения изменения напряжений по ширине полотна образца пилы приведена на рис. 3.

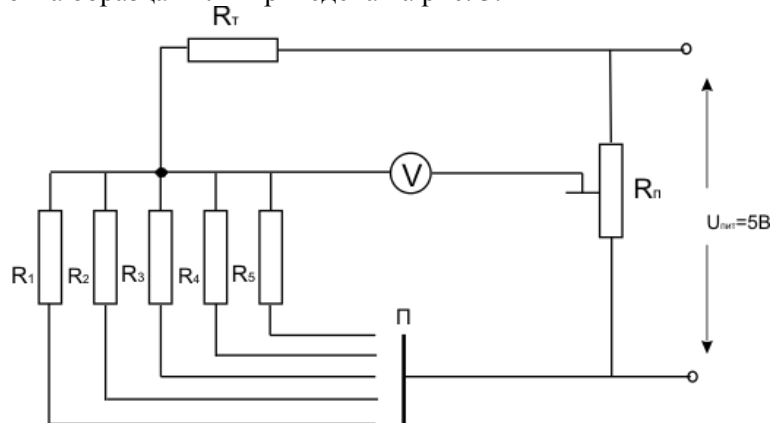


Рис. 3. Электрическая измерительная схема для определения напряжений в образце ленточной пилы при его натяжении: R_T – температурный тензорезистор; R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – тензорезисторы; $R_{П}$ – подстроечный тензорезистор; Π – переключатель тензорезисторов

Натяжение пилы задавали от 5,0 до 15,0 кН через 2,5 кН, что для данного образца пилы соответствовало изменению напряжений от 36 до 109 МПа через 18 МПа. Величина напряжений характеризовалась величиной электрического напряжения в милливольтгах, определяемой по вольтметру. Было проведено 5 опытов, в каждом опыте было выполнено по 10 наблюдений. Результаты опытов обрабатывали методом математической статистики. В каждом опыте определяли отношение средних значений показаний тензорезистора, приклеенного в непосредственной близости от межзубовой впадины, к среднему значению показаний остальных тензорезисторов. При силе натяжения 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0 кН получены следующие значения теоретических (нижний индекс «т») коэффициентов концентрации напряжений в межзубовой впадине при натяжении (нижний индекс «н») образца ленточной пилы: соответственно 1,64; 1,60; 1,61; 1,62; 1,61. С достаточной точностью можно принять $k_{нт} = 1,62$.

Действительный коэффициент концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы при натяжении (коэффициент чувствительности материала пилы $q = 0,85$ [6]) может быть определен из выражения:

$$k_n = 1 + q(k_{нт} - 1) = 1,53.$$

Выводы

1. Определены теоретический и действительный коэффициенты концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточной пилы (ГОСТ 6532–77) при ее натяжении: $k_{нт} = 1,62$; $k_n = 1,53$.

2. Полученные коэффициенты концентрации напряжений могут быть использованы при определении эквивалентного коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил по формуле (2) и коэффициента запаса прочности по формуле (3).

3. Рассмотренные методики могут быть использованы и для пил с другими геометрическими параметрами при определении коэффициентов концентрации напряжений в межзубовых впадинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин Е.Д. Исследование причин аварийного расхода ленточных пил// Механическая технология древесины: межвуз. сб. науч. тр. / ЛТА. СПб: ЛТА, 1976. С. 45–46.
2. Малышев Ю.В. Влияние некоторых факторов на долговечность полотен ленточных делительных пил. Л.: ЛТА, 1974. 10 с.
3. Настенко А.А., Веселков В.И. Технологические режимы РИ 04–00. Подготовка делительных ленточных пил. Архангельск: ЦНИИМОД, 1976. 66 с.
4. Прокофьев Г.Ф. Определение требуемой прочности пил многопильных ленточнопильных станков// Лесн. журн. 1989. №6. С. 81–85. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 240 с.

6. Прокофьев Г.Ф., Коваленко О.Л. Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе// Лесн. журн. 2015. № 4. С. 50–56. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Феоктистов А.Е. Причины появления трещин в полотнах ленточных пил // Деревообраб. пром-сть. 1960. №5. С. 12–14.

8. Феоктистов А.Е. Ленточнопильные станки. М.: Лесн. пром-сть. 1976. 152 с.

9. Швамм Л.Г. Исследование и разработка методов повышения долговечности ленточных пил для распиловки древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛТА, 1982. 20 с.

Поступила 18.09.15

UDC 621.935

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.117

Determination of the Stress Concentration Factor in the Tooth Space of a Band Saw under Tension

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

O.L. Kovalenko, Postgraduate Student

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

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

e-mail: g.prokofjev@narfu.ru, o.kovalenko@narfu.ru

The failure of the saws due to the fatigue effect is the most common cause of the ineffective time of the band saws. The formation of cracks in the tooth space not only reduces the band saws performance, but also increases the cost of the acquisition and preparation of the saws and creates a danger for the workers. The tooth space parameters, which are the stress concentrators, have a great influence on the fatigue strength of the band saws. To assess the strength of a band saw we should know the stress concentration factor in the tooth space of a band saw on its bend on the wheels and tension. Knowledge of these factors let us to determine the equivalent stress concentration factor and to calculate the safety factor of a band saw. Previously, the authors identified the theoretical and actual stress concentration factors in the tooth space of a band saw under bending and the sensitivity coefficient of materials of a band saw. The paper presents the experiments to determine the theoretical stress concentration factor of a saw under tension. A band saw sample was fixed up in the universal testing machine head TIME WDW 200E. The tension of a band saw sample was performed by the vertical displacement of the upper head. 5 resistive strain gages were fixed in the middle of the free length of the sample: one was near the tooth space; others were distributed at the equal distances along the blade width of the sample. The stresses were characterized by a voltage value in millivolts measured by the voltmeter. The theoretical stress concentration factor of a band saw under tension equal to 1.62 is obtained. The actual stress concentration factor in the tooth space of a band saw under tension is 1.53 at the sensitivity coefficient of materials (steel 9ХФ – alloy structure steel) of a band saw, equal to 0.85.

Keywords: band saw, fatigue crack, stress concentration factor in the tooth space, sensitivity coefficient of materials of a band saw, safety factor of a band saw.

REFERENCES

1. Dobrynin E.D. Issledovanie prichin avariynogo raskhoda lentochnykh pil [Research into the Causes of the Average Disbursement of the Band Saws]. *Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Mechanical Wood Technology]. Saint Petersburg, 1976, pp. 45–46.
2. Malyshev Yu.V. Vliyanie nekotorykh faktorov na dolgovechnost' poloten lentochnykh delitel'nykh pil [Influence of Some Factors on the Durability of the Band Resaw Blades]. Saint Petersburg, 1974. 10 p.
3. Nastenko A.A., Veselkov V.I. *Tekhnologicheskie rezhimy RI 04–00. Podgotovka delitel'nykh lentochnykh pil* [Technological Modes of RI 04–00. Preparation of the Band Resaws]. Arkhangelsk, 1976. 66 p.
4. Prokof'ev G.F. Opredelenie trebuemoy prochnosti pil mnogopil'nykh lentochnopil'nykh stankov [Determination of the Required Strength of the Multiblade Band Resaws]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 6, pp. 81–85.
5. Prokof'ev G.F. *Intensifikatsiya pileniya drevesiny ramnymi i lentochnymi pilami* [Intensification of Wood Sawing by Frame Saws and Band Saws]. Moscow, 1990. 240 p.
6. Prokof'ev G.F., Kovalenko O.L. Opredelenie koeffitsienta kontsentratsii napryazheniy v mezhzubovykh vpadinakh lentochnykh pil pri izgibe [Determination of the Stress Concentration Factor in the Tooth Space of the Band Saws under Bending]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 50–56.
7. Feoktistov A.E. Prichiny poyavleniya treshchin v polotnakh lentochnykh pil [Causes of Cracks in the Band Saw Blades]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 1960, no. 5, pp. 12–14.
8. Feoktistov A.E. *Lentochnopil'nye stanki* [Band Saws]. Moscow, 1976. 152 p.
9. Shvamm L.G. *Issledovanie i razrabotka metodov povysheniya dolgovechnosti lentochnykh pil dlya raspilovki drevesiny: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research and Development of the Improving Practices of Band Saw Durability for Re-sawing: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1982. 20 p.

Received on September 18, 2015

УДК 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.124

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ТРЕБОВАНИЯМ К ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ*

А.А. Тамби, канд. техн. наук, доц.

А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф.

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

Прогнозирование физико-механических свойств древесины является важной и актуальной задачей в процессе изготовления конструкционных пиломатериалов. При несоответствии плотности и зависящей от нее прочности древесины конструкционных пиломатериалов расчетным характеристикам она не может быть использована в производстве несущих конструкций, что снижает коэффициент использования древесины и увеличивает стоимость готовых изделий. Разработан метод оценки плотности древесины эксплуатационной влажности на этапе лесозаготовки, основанный на оценке ее базисной плотности, что позволяет присваивать определенные качественные индексы лесным массивам до проведения лесозаготовительных работ. Исследования выполнены для групп модельных деревьев сосны и ели, заготовленных в разных частях Ленинградской области. За критерий оценки качества древостоев принята плотность древесины при влажности 12 %. Получены модели, описывающие связь между базисной плотностью древесины сосны и ели и плотностью древесины влажностью 12 % в деловой части хлыста. Внедрение разработанного метода в практику лесных хозяйств возможно путем введения индексов лесосек, указывающих на качественные характеристики растущих деревьев и их соответствие определенным видам продукции исходя из требуемой заказчиками плотности древесины. Дополнение существующих таксационных характеристик индексом соответствия лесных массивов позволит разделять круглые лесоматериалы по стоимости.

Ключевые слова: базисная плотность древесины, функция плотности, физические свойства древесины, индекс лесосеки.

Введение

Увеличение объемов промышленного производства продукции из древесины, создание новых товаров, различных по виду и назначению, требуют разработки и внедрения новых методов сортообразования пиломатериалов. Кроме требований государственных стандартов, сортообразование по которым основывается на внешнем виде сортиментов, при изготовлении несущих конструкций необходимо учитывать их физико-механические свойства.

* Исследования выполнены в рамках работ по теме ГР 01201463693.

Наиболее значимыми из них являются влажность и плотность древесины, во многом определяющие эксплуатационные свойства продукции. При изготовлении не несущих (обшивочных или ограждающих) материалов влияние пороков (сучков, трещин, коробления и т.д.) на свойства древесины может быть частично снижено путем внедрения в производственный процесс операций по вырезке дефектных мест и сращиванию заготовок, что позволяет увеличить выход конечной продукции.

При несоответствии плотности и зависящей от нее прочности [11] древесины конструкционных пиломатериалов определенного сечения расчетным (справочным) характеристикам, она не может быть использована в производственном процессе изготовления несущих конструкций. Повышение несущей способности пиломатериалов низкой прочности возможно за счет увеличения их сечения. Но прочность пиломатериалов определяют после их выпилки и гидротермической обработки, когда сечение уже сформировано.

С позиций рационального природопользования целесообразно оценивать плотность древесины перед механической обработкой, разделяя круглые лесоматериалы по физическим свойствам. Существующие методы [8, 10, 12–21] позволяют выполнять такую оценку на этапе раскряжевки хлыстов или при оценке круглых лесоматериалов непосредственно на деревоперерабатывающем предприятии. При несоответствии свойств древесины требованиям к конструкционным материалам предприятие может использовать такие сортаменты для изготовления иной продукции, например доски обшивочной, но при этом будет испытывать дефицит в сырье для изготовления товаров конструкционного назначения.

По этой причине необходимо оценивать свойства древесины непосредственно на лесных участках, предназначенных для проведения рубок главного пользования. Определение физических свойств древесины растущих деревьев позволит присваивать определенные качественные индексы лесным массивам до проведения лесозаготовительных работ. Такой подход увеличит спецификационный выход готовой продукции и изменит методы экономической оценки лесосек не только на основании размерных, но и качественных характеристик древостоев.

Методы исследования

Целью исследования является обоснование метода оценки плотности древесины эксплуатационной влажности на этапе лесозаготовительных работ. Разработанная методика основана на зависимости между базисной плотностью древесины, определяемой с помощью керна на высоте 1,3 м, и плотностью древесины на определенной высоте ствола.

Количество модельных деревьев и подготовка образцов соответствует ГОСТ 16483.6–80 «Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений»,

оценка свойств древесины – ГОСТ 16483.0–89 «Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям».

В качестве критерия оценки качества древостоев принята плотность древесины при влажности 12 %. Исследовали древесину нескольких групп модельных деревьев сосны и ели, заготовленных в районах Ленинградской и Псковской областей: Всеволожском, Выборгском, Киришском, Приозерском. Такой подход позволил учесть различные условия произрастания. Образцы для определения базисной плотности по радиусу ствола дерева заготавливали на высоте 1,3 м с помощью керн диаметром 12 мм и длиной 40 см. У полученных образцов определяли объем, затем высушивали древесину до абсолютно сухого состояния и по известной методике [9] определяли базисную плотность. Затем из ствола (в соответствии с методикой [5]) выпиливали с шагом 1 м секции, которые кондиционировали до достижения равновесной влажности 12 %, после чего определяли среднюю плотность древесины по сечению.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования плотности древесины сосны и ели (влажность 12 %), заготовленной в Ленинградской области, приведены в таблице.

Средняя плотность древесины влажностью 12 % по сечению хлыста из разных мест заготовки

Высота ствола, м	Сосна				Ель		
	Пос. Сосново	г. Кириши	г. Приозерск	г. Псков	г. Выборг	пос. Матокса	г. Псков
	Средняя плотность древесины по сечению ρ_{12} , кг/м ³ , при базисной плотности ρ_b на высоте 1,3 м, кг/м ³						
	472	432	416	379	350	340	325
1	598,0	525,1	518,5	469,2	390,0	393,0	333,8
2	533,5	524,9	492,9	452,2	442,3	425,5	348,7
3	493,1	524,1	476,8	420,5	432,7	416,6	334,1
4	483,8	493,8	493,5	416,1	425,0	417,5	416,5
5	474,4	519,1	485,8	424,0	430,3	388,0	385,2
6	488,3	511,7	456,7	409,9	439,8	409,8	389,1
7	518,2	478,2	478,1	397,9	424,9	424,9	396,0
8	499,8	468,3	444,0	427,8	429,9	422,9	422,9
9	498,7	473,7	479,8	428,0	443,4	435,8	407,6
10	482,5	485,3	454,7	412,3	432,9	432,1	417,0
11	477,3	490,7	425,9	418,5	405,0	430,0	440,0
12	471,2	480,5	444,5	417,2	452,2	435,4	415,0
13	488,4	467,2	448,4	414,6	441,4	431,8	427,4
14	472,9	462,8	488,0	426,3	452,2	451,0	442,0
15	460,0	479,9	490,0	410,5	468,2	438,2	437,2
16	–	–	445,2	408,7	460,7	466,3	428,1
17	–	–	442,9	406,1	458,0	454,6	445,7
18	–	–	453,2	–	489,1	473,7	488,1

Математическая обработка результатов исследования выполнена с помощью пакета регрессионного анализа в среде MS Excel.

В результате проведенных исследований получены математико-статистические модели, описывающие связь между базисной плотностью древесины сосны (1) и ели (2) и плотностью (функция плотности) древесины влажностью 12 % в деловой части хлыста (R^2 соответственно 0,67 и 0,70).

$$\rho_{12\%} = 162,5 + 0,788\rho - 3,22L; \quad (1)$$

$$\rho_{12\%} = 1,22\rho + 4,46L - 29,1, \quad (2)$$

где L – высота, на которой определяется средняя плотность древесины, м.

Графически результаты исследования связи базисной плотностью древесины на высоте 1,3 м со средними значениями плотности древесины по высоте ствола при влажности 12 % отображены на рис. 1, 2.

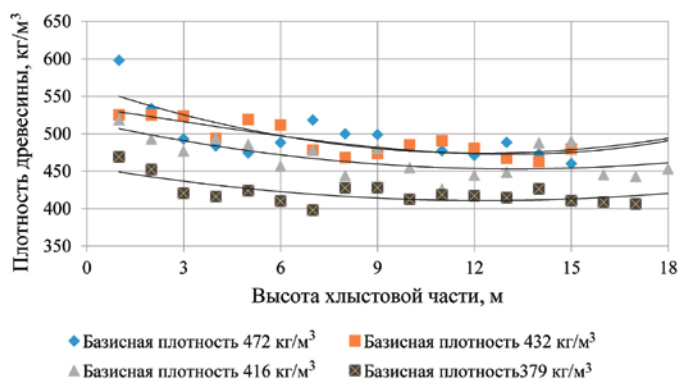


Рис. 1. Средняя плотность древесины по высоте деловой части хлыста сосны при влажности 12 % и разной базисной плотности, определенной на высоте 1,3 м

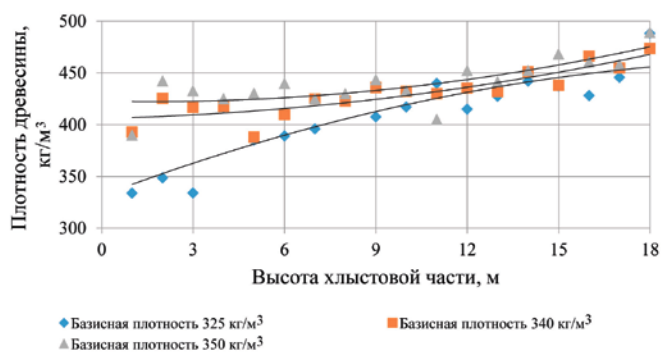
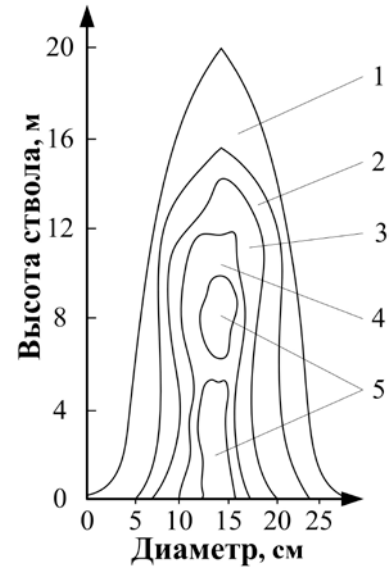


Рис. 2. Средняя плотность древесины по высоте деловой части хлыста ели при влажности 12 % и разной базисной плотности, определенной на высоте 1,3 м

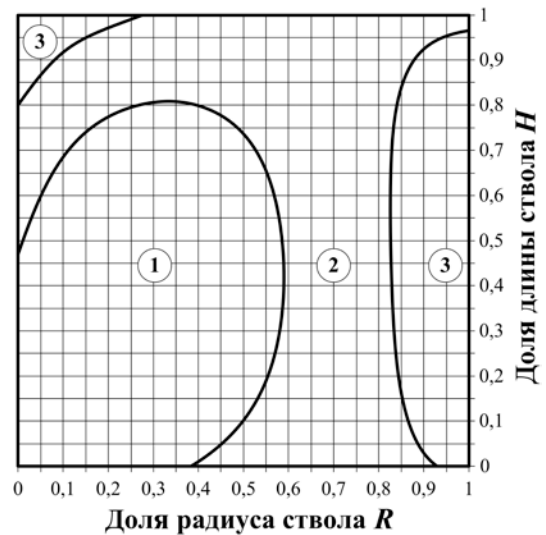
Полученные результаты хорошо согласуются с известными ранее [5, 6, 9, 10] (рис. 3) и не противоречат закономерностям распределения массы древесины (функции плотности) в стволе дерева влажностью 12 % [15] (рис. 4, 5).

Рис. 3. Денситограмма ствола ели [5] при различной базисной плотности древесины, кг/м³: 1 – свыше 401; 2 – 381...400; 3 – 361...380; 4 – 341...360; 5 – менее 340



Представленные на рис. 4, 5 значения плотности древесины в различных частях ствола ели и сосны объясняют снижение степени корреляции R^2 для уравнений (1), (2) до 0,67 и 0,70, поскольку на высоте 1,3 м, где осуществляется отбор проб для проведения испытаний, находится древесина разной плотности (зоны 3 и 4).

Рис. 4. Плотность древесины в различных частях ствола ели при влажности 12 %, кг/м³: 1 – 350...400; 2 – 400...450; 3 – 450...500



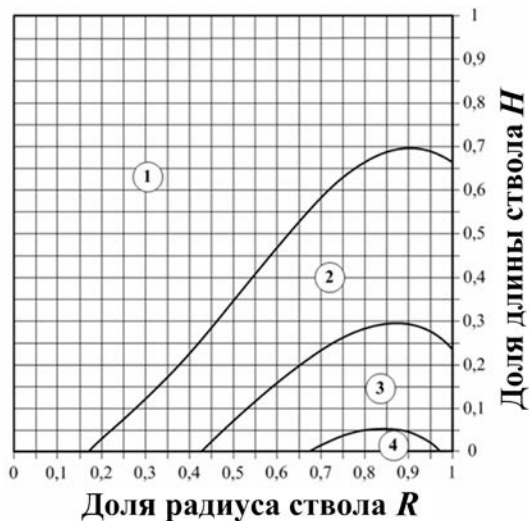


Рис. 5. Плотность древесины в различных частях ствола сосны (влажность 12 %), кг/м³:
 1 – 400...450; 2 – 450...500; 3 – 500...550;
 4 – 550...600

Плотность у древесины ели увеличивается от сердцевины к заболони, у древесины сосны снижается от комля к вершине, однако эти изменения неравномерны. Поскольку плотность древесины ели и сосны при влажности 12 % изменяется в широком диапазоне от 350 до 500 и от 400 до 600 кг/м³ соответственно, уменьшение доли любой из зон оказывает значительное влияние на базисную плотность, вследствие чего становится возможной реализация на практике разработанного метода оценки качества древостоев.

Анализируя рис. 1, 2 и 4, 5, можно сделать вывод о необходимости принятия решения о длине и положении в стволе сортиментов, формируемых из хлыста на основании знания физических свойств древесины в каждой единице объема, что позволяет разделять круглые лесоматериалы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к готовой продукции.

Статистический анализ зависимостей (1) и (2) указывает на среднюю и высокую степень взаимосвязи между исследованными переменными, что позволяет судить о целесообразности использования разработанного метода при качественной оценке назначения лесного фонда.

Внедрение предлагаемого метода в практику лесных хозяйств путем введения индексов лесосек, указывающих, помимо известных таксационных параметров, на качественные характеристики растущих деревьев и их пригодность для изготовления разных видов продукции [1–4, 7]. Так, по требованиям, предъявляемым к плотности конструкционных материалов длиной 6 м (не менее 505 кг/м³ при влажности 12 %) могут быть определены требования к

заготавливаемой древесине, удовлетворяющей этому условию. Например, исходя из рис. 1 и формулы (1), для изготовления конструкционных материалов необходимо использовать древесину сосны, имеющей базисную плотность на высоте 1,3 м более 455 кг/м. Лесосекам, на которых произрастает древесина с такими характеристиками, необходимо присваивать высший индекс и отправлять комлевые части бревен на предприятия по выпуску конструкционных пиломатериалов. Подобным образом могут быть присвоены индексы для каждого вида продукции при формализации требований к плотности древесины.

Оценку качества лесосеки и присвоение ей индекса целесообразно выполнять в следующей последовательности:

получение таксационных характеристик лесных насаждений на лесном участке;

определение потребного количества модельных деревьев в соответствии с ГОСТ 16483.6–80, из которых керном высверливают пробы для определения базисной плотности древесины;

расчет качественного индекса лесосеки;

установление функции плотности древесины круглых лесоматериалов с использованием компьютерной и магнитно-резонансной томографии или стандартным способом на деревообрабатывающем предприятии;

уточнение-адаптация (при необходимости) модели для различных гео-климатических условий роста деревьев.

Выводы

1. Установленная в результате исследований связь между базисной плотностью растущего дерева и плотностью при нормализованной влажности позволяет осуществлять оценку качества древостоев по плотности, требования к которой зависят от назначения готовой продукции.

2. Разработанный алгоритм дает возможность присваивать лесосекам индексы соответствия определенным видам продукции исходя из требуемой заказчиком плотности древесины.

3. Дополнение существующих таксационных характеристик индексам соответствия лесных массивов позволяет осуществлять дифференцирование круглых лесоматериалов по стоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 6. С. 72–77.

2. Данилов Д.А. Закономерности структурных изменений в сосновых и еловых древостоях на объектах комплексного ухода за лесом: автореф. дис. канд. с.-х. наук. СПб.: СПбГЛТУ, 2011. 21 с.

3. Пальчиков С.Б., Баранов А.Ф. Вопросы необходимости ведения мониторинга состояния насаждений с использованием современных методов дендрохронологических исследований // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 5. С. 116–121.

4. Петров В.Н., Чубинский А.Н., Смирнова А.И., Тамби А.А. Экономическое обоснование целесообразности сортировки пиловочника по качественным признакам// Изв. СПбГЛТУ. 2011. № 19. С. 273–279.
5. Полуобояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Рябчук В.П., Юскевич Т.В., Гриб В.М. Физические свойства древесины видов рода сосна// Лесн. журн. 2013. №5. С. 160–169. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Соколов А.П., Сюнёв В.С. Логистическая концепция организации лесозаготовительного производства// Ученые записки ПетрГУ. Серия «Естеств. и техн. науки». 2014. № 4 (141). С. 88–95.
8. Тамби А.А., Теппоев А.В., Шимкевич Ю.А., Гальсман И.Е. Методика применения магнитно-резонансной томографии для оценки внутреннего строения и влажности круглых лесоматериалов // Изв. СПбГЛТУ. 2013. № 203. С. 100–107.
9. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. 4-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
10. Люнгетюд Ф., Моте Ф., Бахшиева М.А., Чубинский А.Н., Шарпентье П., Бомбардые В., Тамби А.А. Исследование процесса идентификации древесных пород по макроскопическим признакам с использованием компьютерной томографии// Изв. СПбГЛТУ. 2013. № 202. С. 158–168.
11. Хухрянский П.Н. Прочность древесины. М.: Гослесбумиздат, 1955. 152 с.
12. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Хитров Е.Г., Шимкевич Ю.А., Семешкур С.О. Обоснование объемного выхода пиломатериалов для клееных деревянных конструкций на основе физических свойств древесины// Изв. СПбГЛТУ. 2014. № 206. С. 146–154.
13. Bhandarkar S.M., Faust T.D., Tang M. Catalog: a system for deflection and rendering of internal log defects using computer tomography// Machine Vision and Applications. N 11. P. 171–190.
14. Bucur V. Nondestructive Characterization and Imaging of Wood. Berlin, 2003.
15. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials// Russian Journal of Nondestructive Testing. 2014. N 50 (11). P. 693–700.
16. Colin F., Mothe F., Freyburger C., Leban J.M., Morisset J.B., Fontaine F. Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography: biological bases, preliminary results and perspectives// Trees. 2010.
17. Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.M. Measuring wood density by means of X-ray computer tomography// Annals of Science. 2009. N 66. P. 804–813.
18. Liang S., Fu F. Relationship Analysis Between Tomograms and Hardness Maps in Determining Internal Defects in Euphrates Poplar// Wood Research. 2012. N 57 (2). P. 221–230.
19. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie// Baumzeitung. 2003. N 8. P. 29–31.
20. Ross R.J., Pellerin R.F. Nondestructive Testing for Assessing Wood Members in Structures// A Review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70. Madison, WI, 1994. 40 p.
21. Wei Q., Leblon B., La Rocque A. On the use of X-ray computed tomography for determining wood properties// Can. J. For. Res. 2011. N 41. P. 2120–2140.

Поступила 20.04.15

UDC 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.124

Wood Density Evaluation of Compliance of the Woodworking Industries Production

A.A. Tambi, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

A.N. Chubinskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov,

Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: a_tambi@mail.ru

Prediction of physical and mechanical properties of wood is an essential and actual problem in the production of the structural lumber. In case of inconsistency of density and the structural strength of the structural lumber with the calculation characteristics it cannot be used in the production of load-bearing structures, which reduces the material ratio of wood and increases the cost of the finished products. We have developed a method of estimating the density of wood of the service moisture content at the stage of harvesting, based on an assessment of the basic wood density that allows us to assign the certain qualitative felling indices prior to the logging operations. The investigations were carried out for the groups of pine and spruce model trees harvested in the different parts of Leningrad region. The criterion for assessing the quality of the stands we adopted the wood density at a moisture content of 12 %. As a result we obtained the models describing the connection between the basic wood density of pine and spruce and wood density with a moisture content of 12 % in the merchantable part of a trunk. The introduction of the developed method in the forestry practice is possible through the introduction of the felling indices indicating the qualitative characteristics of growing trees and their conformity to the certain types of products based on the customers desired density of wood. The felling coincidence index in the list of the survivor characteristics allows us to define the roundwood materials according to value. The research is carried out within the framework of the works on the subject of GR 01201463693.

Keywords: basic wood density, density function, physical properties of wood, felling index.

REFERENCES

1. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunitskaya O.A. Obos-novanie metodiki otsenki ekologicheskoy effektivnosti lesopol'zovaniya [Justification of Methodology for Environmental Performance Evaluation of Forest Management]. *Vestnik KrasGAU* [the Bulletin of KrasGAU], 2012, no 6, pp. 72–77.
2. Danilov D.A. *Zakonomernosti strukturnykh izmeneniy v osnovnykh i elovykh drevostoyakh na ob"ektakh kompleksnogo ukhoda za lesom: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Patterns of Structural Change in the Pine and Spruce Stands at the Objects of the Forest Total Care: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 2011. 21 p.
3. Pal'chikov S.B., Baranov A.F. Voprosy neobkhodimosti vedeniya monitoringa sostoyaniya nasazhdeniy s ispol'zovaniem sovremennykh metodov dendrokronologicheskikh issledovaniy [Questions of the Necessity of Monitoring of the State of Plants Using the Modern Methods of Dendrochronological Research]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 5, pp. 116–212.

4. Petrov V.N., Chubinskiy A.N., Smirnova A.I., Tambi A.A. Ekonomicheskoe obosnovanie tselesoobraznosti sortirovki pilovochnika po kachestvennym priznakam [Economic Rationale for Log Sorting at the Grade Break]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2011, no. 197, pp. 273–279.
5. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, 1976. 160 p.
6. Ryabchuk V.P., Yuskevich T.V., Grib V.M. Fizicheskie svoystva drevesiny vidov roda sosna [The Physical Properties of Wood of the Pine Species]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 160–169.
7. Sokolov A.P., Syunev V.S. Logisticheskaya kontseptsiya organizatsii lesozagotovitel'nogo proizvodstva [Logistical Concept of the Timber Production Organization]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences], 2014, no. 4, pp. 88–95.
8. Tambi A.A., Teppoev A.V., Shimkevich Yu.A., Gal'sman I.E. Metodika primeneniya magnitno-rezonansnoy tomografii dlya otsenki vnutrennego stroeniya i vlazhnosti kruglykh lesomaterialov [The method of Application of Magnetic Resonance Imaging for the Evaluation of the Internal Structure and Humidity of Roundwood]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2013, no. 203, pp. 100–107.
9. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Technology with the Fundamentals of Forest Commodity]. Moscow, 2007. 351 p.
10. Lyungetyud F., Mote F., Bakhshieva M.A., Chubinskiy A.N., Sharpent'e P., Bombard'e V., Tambi A.A. Issledovanie protsessa identifikatsii drevesnykh porod po makroskopicheskim priznakam s ispol'zovaniem komp'yuternoy tomografii [Investigation of the Process of Identification of Tree Species by the Macroscopic Characteristics Using the Computed Tomography]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2013, no. 202, pp. 158–168.
11. Khukhryanskiy P.N. *Prochnost' drevesiny* [The Strength of Wood]. Moscow, 1955. 152 p.
12. Chubinskiy A.N., Tambi A.A., Khitrov E.G., Shimkevich Yu.A., Semishkur S.O. Obosnovanie ob"emnogo vykhoda pilomaterialov dlya kleenykh derevyannykh konstruksiy na osnove fizicheskikh svoystv drevesiny [Justification for the Board Output from the Saws for Glued Wooden Structures on the Basis of Physical Properties of Wood]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2014, no. 206, pp. 146–154.
13. Bhandarkar S.M., Faust T.D., Tang M. Catalog: a System for Defection and Rendering of Internal Log Defects Using Computer Tomography. *Machine Vision and Applications*, 1999, no. 11, pp. 171–190.
14. Bucur V. *Nondestructive Characterization and Imaging of Wood*. Berlin, 2003.
15. Chubinskii A.N., Tambi A.A., Teppoev A.V., Anan'eva N.I., Semishkur S.O., Bakhshieva M.A. Physical Nondestructive Methods for the Testing and Evaluation of the Structure of Wood Based Materials. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2014, no. 50(11), pp. 693–700. doi: 10.1134/S1061830914110023.
16. Colin F., Mothe F., Freyburger C., Leban J.M., Morisset J.B., Fontaine F. Tracking Rameal Traces in Sessile Oak Trunks with X-Ray Computer Tomography: Biological Bases, Preliminary Results and Perspectives. *Trees*, 2010, no. 24(5), pp. 953–967. doi: 10.1007/s00468-010-0466-1.
17. Freyburger C., Longuetaud F., Mothe F., Constant T., Leban J.M. Measuring Wood Density by Means of X-Ray Computer Tomography. *Annals of Science*, 2009, no. 66, pp. 804–813.

18. Liang S., Fu F. Relationship Analysis Between Tomograms and Hardness Maps in Determining Internal Defects in Euphrates Poplar. *Wood Research*, 2012, no. 57(2), pp. 221–230.

19. Rinn F. Technische Grundlagen der Impuls-Tomographie. *Baumzeitung*, 2003, no. 8, pp. 29–31.

20. Ross R.J., Pellerin R.F. *Nondestructive Testing for Assessing Wood Members in Structures: A Review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70*. Madison, WI, 1994. 40 p.

21. Wei Q., Leblon B., La Rocque A., On the Use of X-ray Computed Tomography for Determining Wood Properties: a Review. *Can. J. For. Res.*, 2011, no. 41, pp. 2120–2140.

Received on April 20, 2015



УДК 676.023.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.135

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОКОРКИ ДЛИННОМЕРНЫХ СОРТИМЕНТОВ В БАРАБАНАХ

О.А. Куницкая¹, д-р техн. наук, доц.

А.Е. Лукин¹, асп.

Г.Н. Колесников², д-р техн. наук, проф.

Е.А. Тихонов², канд. техн. наук, доц.

Т.В. Тюрикова³, канд. техн. наук, ст. преп.

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: ola.ola07@mail.ru; lv-fashion@bk.ru

²Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, 185910; e-mail: 79214519247@ya.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: t.tyurikova@narfu.ru

Значительная часть технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства, а также производства древесных плит производится в древесно-подготовительных цехах деревоперерабатывающих предприятий. Одной из основных операций технологического процесса является окорка балансов, которая выполняется в окорочных барабанах. Длина баланса, поступающего в окорочный барабан, обычно не превышает 1,2 м. Это обоснованно позволяет пренебречь его возможным поперечным изгибом во время обработки ввиду его большой жесткости. Однако в последнее время в практике зарубежных древесно-подготовительных участков стала практиковаться окорка длинномерных лесоматериалов. Это позволяет существенно повысить производительность древесно-подготовительных линий, уменьшить энергоемкость и снизить потери древесины на стадии окорки. При окорке длинномеров сбег и деформации изгиба оказывают существенное влияние на качество окорки. В развитие ранее выполненных исследований нами рассматривается окорка хлыстов и длинномеров в барабане, который значительно короче хлыстов. В этой связи появляется актуальная проблема исследования качества окорки длинномеров в укороченных барабанах. Цель работы – применение численного моделирования для оценки влияния изгиба длинномеров с учетом их сбega. В качестве инструмента исследования использован комплекс программ конечно-элементного анализа ANSYS. По результатам моделирования обоснована адекватность предлагаемой методики моделирования, применение которой позволило подтвердить ранее сформулированную гипотезу о том, что не только соударение, но и возникающие при изгибе деформации и напряжения могут вызвать разрушение материала, ослаблять силы сцепления коры с древесиной и силы сцепления слоев коры между собой.

Ключевые слова: окорка длинномерных лесоматериалов, сбег ствола, изгиб длинномеров, численное моделирование, качество окорки, окорочный барабан.

В последние годы в лесах России наблюдаются деструктивные процессы, заключающиеся в накоплении большого количества низкотоварной древесины, в которую входят деревья мягколиственных пород и хвойный тонкомер [12, 18]. Вовлечение этой древесины в переработку позволяет существенно

повысить эффективность лесозаготовительного производства [14, 16], а также создать новые рабочие места и улучшить социально-экономическую обстановку в поселках лесозаготовителей [13, 15].

В целях повышения производительности древесно-подготовительных линий, снижения энергоемкости и потерь древесины можно производить окорку низкотоварных хлыстов, длинномеров или среднелиннх сортиментов в окорочных барабанах [22, 24]. Однако в этом случае существенное влияние на показатели процесса окорки окажет влияние сбег ствола, т.е. уменьшение диаметра ствола дерева от комля к вершине, приходящееся на единицу длины ствола [19, 23]. С уменьшением диаметра ствола, по закону близкому к линейному, уменьшается толщина коры [4]. Соответственно, степень очистки от коры будет неодинакова по длине окариваемого лесоматериала. Если сравнивать два участка одного и того же сортимента при одной и той же продолжительности нахождения в окорочном барабане, то степень окорки будет выше на участках с меньшим диаметром [25]. На правомерность такой гипотезы указывают результаты исследований окорки круглых лесоматериалов диаметром от 10 до 26 см и длиной от 0,5 до 1,5 м [6]. Эти эксперименты подтверждают существование закономерности, которая проявляется в нелинейной зависимости качества окорки от диаметра окариваемого лесоматериала. Данная закономерность теоретически была обоснована в [11].

Таким образом, экспериментально и теоретически обоснована следующая закономерность: если в окорочном барабане соударяются бревна неодинакового диаметра, то степень очистки от коры зависит от их диаметра, причем она возрастает пропорционально квадрату уменьшения диаметра. И наоборот, степень очистки от коры уменьшается пропорционально квадрату увеличения диаметра.

С увеличением длины окариваемых бревен возрастает влияние их изгиба при соударениях друг с другом и с внутренней поверхностью барабана. Изгиб длинномеров наблюдался авторами при изучении процесса окорки длинномеров в окорочном барабане. В литературе и глобальной информационной сети Интернет не удалось найти публикаций с описанием методик оценки напряжений, возникающих не только при соударениях длинномеров, но и при их изгибе.

Взаимное влияние на процесс окорки знакопеременных нагрузок и ударных нагрузок от других хлыстов и конструктивных элементов барабана – очень сложная задача, которую представляется возможным решить с использованием механики контактного разрушения [17]. Примеры успешного использования данного теоретического аппарата для решения прикладных задач лесозаготовительного производства представлены в работах [5, 10].

Цель данной работы – применение численного моделирования для оценки влияния изгиба длинномеров с учетом их сбег. Далее предполагается, что очистка от коры выполняется в установках барабанного типа.

В работе использована модель длинномера, которая с точки зрения геометрии представляет собой усеченный конус. Тем самым учитывается сбеги по аналогии с [19].

Обращаясь к экспериментальным данным, заметим, что с точки зрения механики прочность, например, древесины пихты при сжатии равна 40 МПа, при изгибе – 58... 62 МПа, модуль упругости при изгибе 10...11 ГПа [26]. Примерно такие же значения прочности в зависимости от температуры, влажности, скорости изменения нагрузки и других факторов могут иметь место для древесины сосны и ели. Возникает вопрос: чему равны напряжения в материале древесного ствола при его изгибе в процессе окорки?

Измерить эти напряжения в условиях реального производства невозможно. Однако применение методов численного моделирования позволяет получить достаточно адекватные оценки напряжений, которые необходимы для обоснования рекомендаций по совершенствованию технологии окорки [7, 21]. Для ответа на сформулированный выше вопрос рассмотрим решение модельной задачи, отличительная особенность которой определяется необходимостью учета изгиба длинномерных сортиментов при их окорке. В качестве инструмента исследования использован комплекс программ конечно-элементного анализа ANSYS. Каждый длинномер моделировали системой конечных элементов в виде тетраэдров, число узлов сетки конечных элементов – 80 504, число элементов – 47 068. Расчеты выполнены на компьютере с двумя шестиядерными процессорами Xeon (оперативная память 96 Гб).

На рис. 1 схематично показаны два длинномера (длина 8,5 м) в коротком корообдирочном барабане (лотки на входе и выходе барабана не показаны), на рис. 2 – фрагмент сетки конечных элементов исследуемого длинномера без коры.

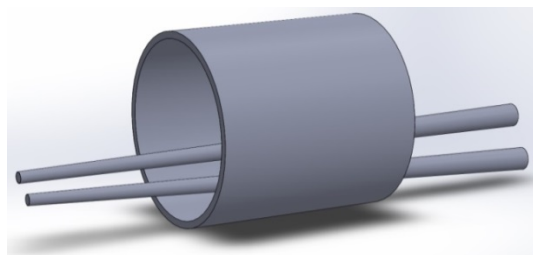


Рис. 1. Два длинномера в корпусе корообдирочного барабана

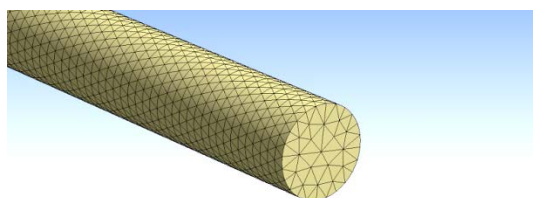


Рис. 2. Фрагмент сетки конечных элементов

В качестве критерия разрушения могут рассматриваться эквивалентные напряжения по Мизесу [1, с. 402, 403]. На рис. 3, 4 показано распределение эквивалентных напряжений в одном из бревен как результат соударения. В зоне соударения бревен напряжения достигают 60...70 МПа. В результате соударения бревно изгибается, что можно рассматривать как собственные колебания и формирование волны изгибных деформаций, распространяющихся по его длине. При этом в достаточно больших областях эквивалентные напряжения находятся в интервале 20...30 МПа (см. рис. 3, б).

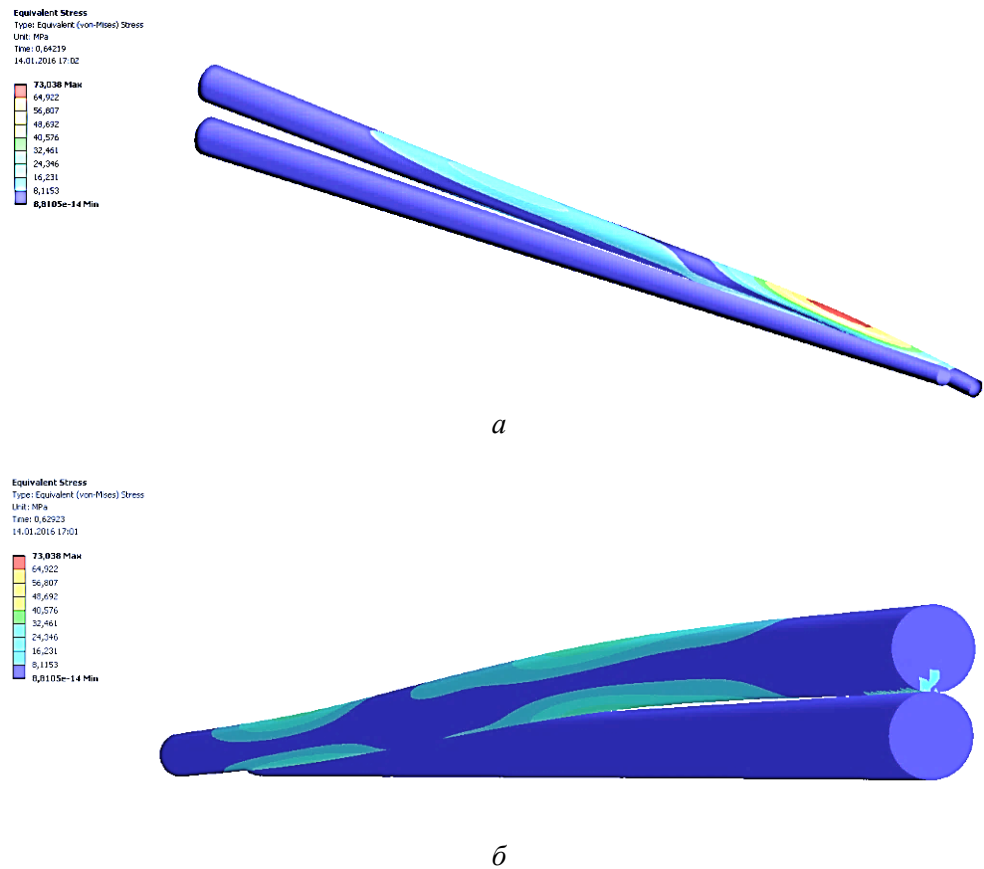


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений при соударении (а) и после него (б)

Детализация распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений, а также наибольших растягивающих и сжимающих напряжений (рис. 4, 5) подтверждает адекватность результатов конечно-элементного моделирования соударений длинномеров в корообдирочном барабане.

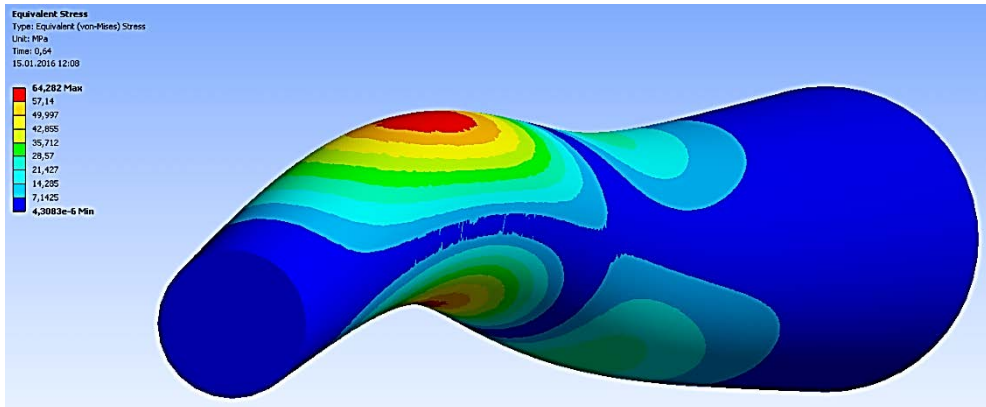
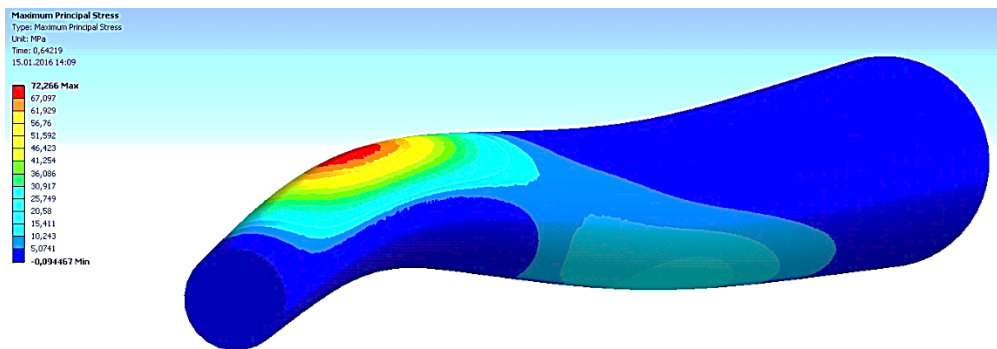
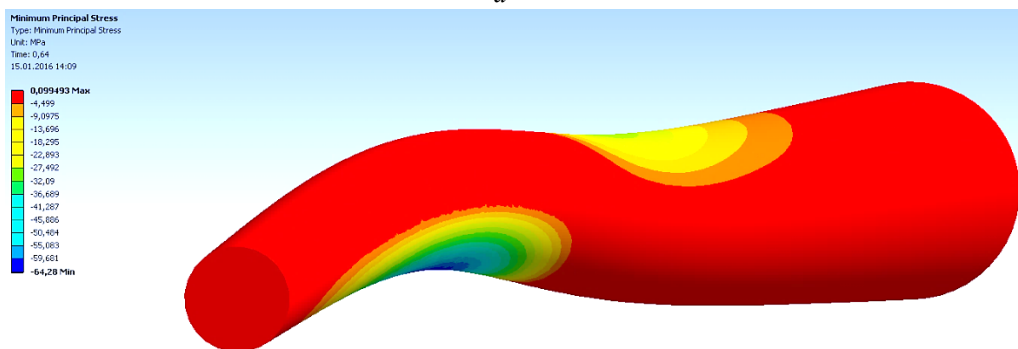


Рис. 4. Детализация распределения эквивалентных напряжений при соударении



a



б

Рис. 5. Распределение растягивающих (*a*) и сжимающих (*б*) напряжений

С увеличением степени очистки возрастают потери древесины. Согласно исследованиям [20, 27], потери древесины при очистке в окорочных барабанах могут составлять 1...4 %. С этими данными о потерях древесины согласуются представленные выше результаты конечно-элементного моделирова-

ния распределения напряжений в материале окариваемого длинномера при его соударении и изгибе, которые указывают на то, что эти напряжения, достигая значений 20...65 МПа, могут служить причиной разрушения не только коры, но и некоторой части древесины. Как известно, предел прочности коры при сжатии составляет приблизительно 5 МПа, модуль упругости при изгибе поперек волокон – 1000 МПа.

Конкретные значения разрушающих напряжений, как отмечено выше, зависят от температуры, влажности и др. факторов. Представленная работа подтверждает целесообразность применения методов численного моделирования для анализа распределения напряжений в окариваемых длинномерах с учетом их соударений и изгиба.

По результатам моделирования обоснована адекватность предлагаемой методики, отличительная особенность которой заключается в том, что не только непосредственное соударение, но и возникающие при изгибе деформации и напряжения могут вызвать разрушение материала в зонах, не совпадающих с областью контакта соударяющихся длинномеров.

Еще одним не выясненным вопросом является взаимное влияние влажности и отрицательной температуры массива коры на его сопротивление разрушению. Как показано в статьях [8, 9], до сих пор теоретически не учитывается именно взаимное влияние влажности и отрицательной температуры массива пористого тела (кора, древесина) его сопротивлению механическому разрушению.

С учетом вышеизложенного назрела необходимость внедрения новых технических решений конструктивной модернизации оборудования для групповой окорки лесоматериалов в целях снижения потерь древесины и энергоемкости [2, 3].

Вклад в решение проблем совершенствования технологий окорки может помочь внедрению укороченных барабанов нового типа. В этом случае достигается существенное уменьшение массы и стоимости корообдирочного барабана. Другие преимущества данного подхода к окорке рассмотрены в работах [19, 23]. Однако для реализации этих преимуществ необходимо продолжение исследований с учетом влияния коры, температуры, влажности древесины, степени заполнения барабана и других технологических и конструктивных факторов. Ряд появляющихся в этой связи актуальных задач может быть решен с применением методов численного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биргер И.А., Мавлютов Р.Р.* Сопротивление материалов. М.: Изд-во МАИ, 1994. 512 с.
2. *Васильев А.С.* Технические решения, защищенные правоохранными документами Российской Федерации в отношении оборудования для окорки лесоматериалов// Инж. вестн. Дона. 2012. № 2. Режим доступа: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/831.

3. *Васильев А.С.* Функционально-технологический анализ оборудования для групповой окорки древесины// Инж. вестн. Дона. 2012. № 3. Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/909.

4. *Газизов А.М., Григорьев И.В., Кацадзе В.А., Шапиро В.Я., Мурашкин Н.В.* Повышение эффективности механической окорки лесоматериалов. СПб.: СПбГЛТА, 2009. 240 с.

5. *Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В.* Вариационный метод расчета и стабилизации параметров роторной окорки// Инж. журн. (с приложением). 2009. № 7. С. 47–51.

6. *Григорьев И.В., Гулько А.Е.* Математическая модель процесса окорки лесоматериалов острым индентором// Деревянные конструкции-2011: образование, практика, инновации в странах Баренцева Евро-Арктического региона: сб. науч. тр. Междунар. науч.-образоват. семинара. Архангельск: Изд-во «Агентство рекламы “РАД”», 2012. С. 62–70.

7. *Григорьев И.В., Куницкая Д.Е.* Уменьшение количества отходов основного производства древесно-подготовительных цехов за счет автоматизации основных операций // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-2 (13-2). С. 409–412.

8. *Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Власов Ю.Н., Иванов В.А., Жданович В.И.* О необходимости дополнительных исследований энергоемкости процесса поперечного пиления древесины// Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С. 143–147.

9. *Григорьев И.В., Хитров Е.Г., Иванов В.А., Жданович В.И., Дербин М.В.* Совместное влияние температуры и влажности древесины сосны на энергоемкость процесса поперечного пиления// Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 157–162.

10. *Григорьев И.В., Шапиро В.Я., Гулько А.Е.* Математическая модель групповой окорки лесоматериалов в окорочных барабанах// Науч. обозрение. 2012. № 4. С. 154–171.

11. *Колесников Г.Н., Доспехова Н.А.* Закономерности соударений и качество очистки балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане// Фундамент. исслед. 2013. № 10–15. С. 3328–3331.

12. *Кравченко Т.С., Григорьева О.И., Абдулова М.А.* Тенденции роста древостоев в Ленинградской области// Теорет. и прикладн. аспекты соврем. науки. 2014. № 6–1. С. 165–167.

13. *Куницкая О.А.* Актуальные проблемы лесозаготовительного производства в России на рубеже 2015 г.// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 5-4 (10-4). С. 183–186.

14. *Куницкая О.А.* Повышение экологической безопасности лесозаготовительного производства за счет эффективной переработки низкотоварной древесины// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-1 (13-1). С. 247–250.

15. *Куницкая О.А.* Перспективы развития нижних лесопромышленных складов// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-2 (13-2). С. 246–249.

16. *Куницкая О.А., Григорьев И.В.* Перспективы увеличения объемов лесозексплуатации за счет низкотоварной древесины// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-2 (8-2). С. 104–107.

17. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Расчет деформационных свойств древесины// Воронеж. науч.-техн. вестн. 2014. № 4 (10). С. 84–88.
18. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Переработка низкотоварной древесины: проблемы и перспективы// Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 9. С. 70–75.
19. Куницкая О.А., Колесников Г.Н., Куницкая Д.Е., Лукин А.Е. Особенности окорки длинномерных сортиментов с учетом сбег в окорочных барабанах// Инж. вестн. Дона. 2015. Т. 36, № 3. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3184> (дата обращения 15.01.2016).
20. Куницкая О.А., Локищанов Б.М., Григорьев И.В. Изготовление технологической щепы из низкокачественной древесины// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-4 (8-4). С. 156–60.
21. Куницкая О.А., Локищанов Б.М., Григорьев И.В. Переработка низкотоварной древесины на технологическую щепу// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-2 (8-2). С. 379–382.
22. Куницкая О.А., Локищанов Б.М., Григорьев И.В., Куницкая Д.Е., Лукин А.Е. Поиск новых технических решений для повышения эффективности производства технологической щепы// Интенсификация формирования и охраны интеллектуальной собственности: материалы республик. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию ПетрГУ. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. С. 14–15.
23. Куницкая О.А., Лукин А.Е. Обоснование направления уточнения математической модели групповой окорки лесоматериалов для условий окорки длинномеров// Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2-2 (13-2). С. 430–433.
24. Локищанов Б.М., Гулько А.Е., Григорьев И.В. Повышение эффективности подготовки низкокачественной древесины к производству технологической щепы// Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы Междунар. науч.-практ. форума. 2013. С. 117–121.
25. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины// Ученые записки ПетрГУ. Серия «Естествен. и техн. науки». 2011. № 8. С. 92–96.
26. Čufar K., Zupančič M. Les jelke (*Abies alba*) kot material in tkivo dreves// Zbornik gozdarstva in lesarstva. 2009. N 89. P. 55–66. URL: <http://eprints.gozdis.si/165/1/zbgl-89-6.pdf> (Date of access: 15.01.2016).
27. Isokangas Ari. Analysis and management of wood room // University of Oulu/ Oulu, 2010. 115 pp. URL: jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6 (15.12.2014).

Поступила 01.02.15

UDC 676.023.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.135

Numerical Modeling of Long Logs Barking in the Barking Drums

*O.A. Kunitskaya*¹, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

*A.E. Lukin*¹, Postgraduate Student

*G.N. Kolesnikov*², Doctor of Engineering Sciences, Professor

*E.A. Tikhonov*², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

*T.V. Tyurikova*³, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: ola.ola07@mail.ru; lv-fashion@bk.ru

²Petrozavodsk State University, Lenin ave., 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: 79214519247@ya.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: t.tyurikova@narfu.ru

A significant part of wood chips for pulp and paper and wood-based panels production is produced in the Wood Yards of the wood processing enterprises. One of the main operations of the technological process is the pulpwood debarking in the barking drums. The pulpwood length entering a barking drum typically does not exceed 1.2 m. This fact reasonably allows us to neglect its possible lateral bending at processing because of its stiffness. However, recently the foreign Wood Yards began to practice long timber barking. This can significantly improve the performance of the Wood Yards, reduce energy consumption and the wood losses at the stage of wood debarking. Tapering and bending strain have a significant impact on the quality when debarking of long logs. As the development of the earlier studies we consider barking of long logs and stems in a barking drum, which is significantly shorter than stems. In this context, there is an actual problem of the quality research of debarking of long logs in the shortened drums. The objective of the paper is the application of numerical modeling to assess the impact of long logs bending in accordance with their tapering. A software complex of the finite element analysis ANSYS is used as an instrument of the research. As a result of the simulation the adequacy of the proposed modeling techniques is proved. Its use confirms the previously formulated hypothesis that not only the collision, but also the resulting flexural strain and stresses can cause destruction of structures, weaken the adhesive power of bark and wood and laminas.

Keywords: long timber barking, stem taper, long timber bending, numerical modeling, quality of barking, barking drum.

REFERENCES

1. Birger I.A., Mavlyutov R.R. *Soprotivlenie materialov* [Structural Resistance]. Moscow, 1994. 512 p.
2. Vasil'ev A.S. Tekhnicheskie resheniya, zashchishchennye pravookhrannymi dokumentami Rossiyskoy Federatsii v otnoshenii oborudovaniya dlya okorki lesomaterialov [Technical Solutions Protected by the Law Enforcement Documents of the Russian Federation in Respect of the Equipment for Wood Barking]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2012, no. 2. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/831.
3. Vasil'ev A.S. Funktsional'no-tekhnologicheskii analiz oborudovaniya dlya gruppovoy okorki drevesiny [Functional and Technological Analysis of the Equipment for a Group Barking of Wood]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2012, no. 3. Available at: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/909.
4. Gazizov A.M., Grigor'ev I.V., Katsadze V.A., Shapiro V.Ya., Murashkin N.V. *Povyshenie effektivnosti mekhanicheskoy okorki lesomaterialov* [Improving the Efficiency of the Mechanical Debarking of Wood]. Saint Petersburg, 2009. 240 p.

5. Gazizov A.M., Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V. Variatsionnyy metod rascheta i stabilizatsii parametrov rotornoy okorki [Variational Method of Calculation and Stabilization of Rotary Debarking Parameters]. *Inzhenernyy zhurnal (s prilozheniem)* [An Engineering Journal with Appendix], 2009, no. 7, pp. 47–51.

6. Grigor'ev I.V., Gul'ko A.E. Matematicheskaya model' protsessa okorki lesomaterialov ostrym indentorom [Mathematical Model of the Wood Debarking Process by a Sharp Indenter]. *Derevyannye konstruksii–2011: obrazovanie, praktika, innovatsii v stranakh Barentseva Evro-Arkticheskogo regiona: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-obrazovat. seminara* [Wooden Constructions–2011: Education, Practice and Innovations in the Countries of the Barents Euro-Arctic Region: Proc. Int. Sci. and Educational Seminar]. Arkhangel'sk, 2012, pp. 62–70.

7. Grigor'ev I.V., Kunitskaya D.E. Umen'shenie kolichestva otkhodov osnovnogo proizvodstva drevlesno-podgotovitel'nykh tsekhov za schet avtomatizatsii osnovnykh operatsiy [Reducing the Amount of Waste of the Primary Production of the Wood Yards Due to the Basic Operations Automation]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, no. 2–2(13–2), pp. 409–412.

8. Grigor'ev I.V., Khitrov E.G., Vlasov Yu.N., Ivanov V.A., Zhdanovich V.I. O neobkhodimosti dopolnitel'nykh issledovaniy energoemkosti protsessa poperechnogo pileniya drevesiny [On the Need for More Research in Energy Intensity Process of Wood Cross Cutting]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2013, no. 4(20), pp. 143–147.

9. Grigor'ev I.V., Khitrov E.G., Ivanov V.A., Zhdanovich V.I., Derbin M.V. Sovmestnoe vliyanie temperatury i vlazhnosti drevesiny sosny na energoemkost' protsessa poperechnogo pileniya [Joint Influence of Temperature and Moisture Content of Pine Wood on the Energy Consumption of the Cross Cutting Process]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2014, no. 2(22), pp. 157–162.

10. Grigor'ev I.V., Shapiro V.Ya., Gul'ko A.E. Matematicheskaya model' gruppovoy okorki lesomaterialov v okorochnykh barabanakh [Mathematical Model of Group Debarking of Wood in the Barking Drums]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2012, no. 4, pp. 154–171.

11. Kolesnikov G.N., Dospekhova N.A. Zakonomernosti soudarenii i kachestvo ochistki balansov neodinakovogo diametra v koroobdirochnom barabane [Collision Common Factors and the Quality of Pulpwood Treatment of an Unequal Diameter in a Barking Drum]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2013, no. 10–15, pp. 3328–3331.

12. Kravchenko T.S., Grigor'eva O.I., Abdulova M.A. Tendentsii rosta drevostoev v Leningradskoy oblasti [The Growth Trends of the Forest Stands in Leningrad Region]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki* [Theoretical and Applied Aspects of the Modern Science], 2014, no. 6–1, pp. 165–167.

13. Kunitskaya O.A. Aktual'nye problemy lesozagotovitel'nogo proizvodstva v Rossii na rubezhe 2015 g. [Actual Problems of Timber Production in Russia at the Turn of 2015]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 5–4(10–4), pp. 183–186.

14. Kunitskaya O.A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti lesozagotovitel'nogo proizvodstva za schet effektivnoy pererabotki nizkotovarnoy drevesiny [Increasing of Environmental Safety of Timber Production by the Efficient Processing of Low-Merchantable

Wood]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, no. 2–1(13–1), pp. 247–250.

15. Kunitskaya O.A. Perspektivy razvitiya nizhnikh lesopromyshlennykh skladov [Prospects of Development of the Lower Lumber Warehouses]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, no. 2–2(13–2), pp. 246–249.

16. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Perspektivy uvelicheniya ob'emov lesoekspluatatsii za schet nizkotovarnoy drevesiny [Prospects for Increasing the Volume of Forest Exploitation by Low-Merchantable Wood]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 3–2(8–2), pp. 104–107.

17. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Raschet deformatsionnykh svoystv drevesiny [Calculation of the Deformation Properties of Wood]. *Voronezhskiy nauchno-tehnicheskii vestnik*, 2014, no. 4(10), pp. 84–88.

18. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Pererabotka nizkotovarnoy drevesiny: problemy i perspektivy [Processing of Low-Merchantable Wood: Problems and Prospects]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, 2015, no. 9, pp. 70–75.

19. Kunitskaya O.A., Kolesnikov G.N., Kunitskaya D.E., Lukin A.E. Osobennosti okorki dlinnomernykh sortimentov s uchedom sbega v okorochnykh barabanakh [Debarking Features of Long Logs with Account of Tapering in the Barking Drums]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Journal of Don], 2015, vol. 36, no. 3. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3184> (accessed 15.01.2016).

20. Kunitskaya O.A., Lokshtanov B.M., Grigor'ev I.V. Izgotovlenie tekhnologicheskoy shchepy iz nizkokachestvennoy drevesiny [Industrial Chips Production from Low-Quality Wood]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 3–4(8–4), pp. 156–160.

21. Kunitskaya O.A., Lokshtanov B.M., Grigor'ev I.V. Pererabotka niz-kotovarnoy drevesiny na tekhnologicheskuyu shchepu [Processing of Low-Merchantable Wood to Industrial Chips]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 3–2(8–2), pp. 379–382.

22. Kunitskaya O.A., Lokshtanov B.M., Grigor'ev I.V., Kunitskaya D.E., Lukin A.E. Poisk novykh tekhnicheskikh resheniy dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy [Finding New Technical Solutions to Improve the Efficiency of the Industrial Chips Production]. *Intensifikatsiya formirovaniya i okhrany intellektual'noy sobstvennosti: materialy respublik. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 75-letiyu PetrGU* [Intensification of the Formation and Protection of the Intellectual Property: Proc. Republic Sci. and Practical Conf., Dedicated to the 75th Anniversary of Petrozavodsk State University]. Petrozavodsk, 2015, pp. 14–15.

23. Kunitskaya O.A., Lukin A.E. Obosnovanie napravleniya utochneniya matematicheskoy modeli gruppovoy okorki lesomaterialov dlya usloviy okorki dlinномеров [Justification of the Specification Direction of the Mathematical Model of the Wood Group Debarking for Lofty Timber]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, no. 2–2(13–2), pp. 430–433.

24. Lokshtanov B.M., Gul'ko A.E., Grigor'ev I.V. Povyshenie effektivnosti podgotovki nizkokachestvennoy drevesiny k proizvodstvu tekhnologicheskoy shchepy [Improving the Effectiveness of the Low-Quality Wood Preparing for the Industrial Chips Production]. *Prirodnye resursy i ekologiya Dal'nevostochnogo regiona: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma* [Natural Resources and Ecology of the Far East Region: Proc. Intern. Sci. and Practical Forum], 2013, pp. 117–121.

25. Shapiro V.Ya., Grigor'ev I.V., Gul'ko A.E. Analiz metodov rascheta parametrov i obosnovanie matematicheskoy modeli razrusheniya kory pri gruppovoy okorke drevesiny [Analysis of Methods of Parameters Calculation and Justification of the Mathematical Model of the Cortex Destruction at the Group Debarking of Wood]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences], 2011, no. 8, pp. 92–96.

26. Čufar K., Zupančič M. Les jelke (*Abies alba*) kot material in tkivo dreves. *Zbornik gozdarstva in lesarstva*, 2009, no. 89, pp. 55–66. Available at: <http://eprints.gozdis.si/165/1/zbgl-89-6.pdf> (accessed 15.01.2016).

27. Isokangas A. *Analysis and Management of Wood Room*. Oulu, 2010. 115 p. Available at: jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6 (accessed 15.12.2014).

Received on February 01, 2015



УДК 676.164.3.023.1

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.3.147

ЭКОЛОГИЧЕСКИ НАДЕЖНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТБЕЛКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ф.Х. Хакимова, д-р техн. наук, проф.

К.А. Синяев, канд. техн. наук, доц.

Д.Р. Нагимов, канд. техн. наук, доц.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., д. 29, г. Пермь, Пермский край, Россия, 614990; e-mail: tcbp@pstu.ru

Задача работы состояла в оценке целесообразности отбели бисульфитной целлюлозы с высоким содержанием остаточного лигнина (7,5 %) по Elemental Chlorine Free (ECF)-технологии пероксидом водорода в кислой среде и хлоритом натрия, сульфитной целлюлозы – по Total Chlorine Free (TCF)-технологии пероксидом водорода по разработанным авторами схемам. Отбели проводили в лабораторных условиях. Условия обработки целлюлозы на отдельных ступенях отбели оптимизированы с использованием программного пакета статистического анализа Statgraphics V.5.0. Показано, что обе схемы отбели довольно жестких бисульфитной и сульфитной целлюлозы характеризуются мягким окислительным воздействием на компоненты целлюлозы и дают положительные результаты по выходу, показателям качества целлюлозы, а также обеспечивают высокую степень обессмоливания целлюлозы по общей и «вредной» смоле, что способствует устранению «смоляных затруднений». Основные показатели промывных вод указывают, что по уровню загрязненности сточных вод предлагаемые технологии отвечают современным требованиям. Предлагаемая схема отбели по ECF-технологии с заменой кислородно-щелочной обработки пероксидной делигнификацией и диоксида хлора растворимым в воде взрывобезопасным хлоритом натрия разработана для отбели сульфатной и бисульфитной жесткой целлюлозы и может быть с успехом внедрена на любом действующем предприятии целлюлозно-бумажной промышленности без значительных капитальных затрат. Внедрение TCF-схемы пероксидом водорода также не требует больших вложений.

Ключевые слова: сульфитная целлюлоза, бесхлорная отбели, пероксид водорода, хлорит натрия, показатели качества целлюлозы, сточные воды.

В современных условиях развитие целлюлозно-бумажного производства в значительной степени связано с решением проблем, связанных с исключением или сведением к минимуму отрицательного воздействия технологического процесса на окружающую среду и повышением конкурентоспособности вырабатываемой продукции.

Производство беленой целлюлозы является наименее экологичной и весьма дорогостоящей стадией изготовления целлюлозно-бумажной продукции высокого качества. Основные проблемы связаны с образованием в процессе отбели большого количества высокозагрязненных стоков.

Непрерывный рост требований к качеству беленой целлюлозы со стороны потребителей, а также ужесточение законодательства в области охраны окружающей среды вызывают необходимость в постоянном совершенствовании существующей технологии отбели целлюлозы.

В главных мировых регионах – производителях целлюлозы – наблюдается интенсивный переход на отбелку сульфатной целлюлозы по ECF (Elemental Chlorine Free)-технологии, сульфитной и лиственной сульфатной целлюлозы – по TCF (Total Chlorine Free)-технологии, основанной на использовании комбинаций различных кислородсодержащих реагентов и, в некоторых случаях, ферментов. Обе технологии эффективны и позволяют получать высококачественную беленую целлюлозу.

В настоящее время переход на ECF-технологию чаще всего связан с использованием кислородно-щелочной делигнификации целлюлозы и отбелкой диоксидом хлора. Проводятся также интенсивные исследования по отбелке целлюлозы пероксидом водорода, которые более результативны при отбелке сульфитной целлюлозы.

В российской целлюлозно-бумажной промышленности сохраняется крупнотоннажное производство сульфитной целлюлозы, для повышения эффективности которого рациональным считается переход на бисульфитные варки повышенного выхода и отбелку целлюлозы по бесхлорным технологиям. Поэтому разработка и внедрение в промышленность ECF- и TCF-технологий, адаптированных к условиям российских сульфитцеллюлозных предприятий, целесообразны.

В данной работе приведены некоторые результаты исследований по отбелке бисульфитной и сульфитной целлюлозы по разработанным авторами ECF- и TCF-схемам [8, 7], а также характеристики промывных (сточных) вод.

TCF-схема отбели только пероксидом водорода предлагается для отбели сульфитной целлюлозы с содержанием лигнина до 4 % и включает следующие ступени: ЩП-Пд-Кук-П-К [11] (где ЩП – предварительная окислительная щелочная обработка целлюлозы в присутствии пероксида водорода; Пд – пероксидная делигнификация в щелочной среде; Кук – обработка целлюлозы раствором уксусной кислоты; П – пероксидная отбелка в щелочной среде; К – обработка целлюлозы раствором сернистой кислоты (кисловка)). Ступень Кук в схеме использована для обеспечения чередования щелочных и кислых ступеней отбели в целях создания «насосного» эффекта и повышения эффективности последующих ступеней отбели [1]; наиболее эффективной для этих целей оказалась уксусная кислота.

ECF-схема предложена авторами для отбели сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы и бисульфитной целлюлозы высокой жесткости и включает: катализируемую (молибдатом натрия) делигнификацию целлюлозы

пероксидом водорода в кислой среде, создаваемой серной кислотой, с последующей щелочной обработкой (Пк-Щ); двухступенчатую отбелку делигнифицированной целлюлозы хлоритом натрия с промежуточным окислительным щелочением (Хт₁-ЩП-Хт₂); на ступенях Хт₁ и Хт₂ для создания кислой среды (рН 4...5) использовали соляную кислоту.

Приведем полную схему отбелки: Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К, где К – кислотка [12].

Условия обработки целлюлозы на основных ступенях отбелки целлюлозы по обеим схемам оптимизированы с использованием программного пакета планирования и статистического анализа Statgraphics V.5.0 [9].

Для изучения свойств целлюлозы использовали следующие стандартные методы определения степени провара (перманганатным методом) – ГОСТ 9109; массовой доли экстрактивных веществ (смола и жиры) – ГОСТ 6841; белизны – ГОСТ 7690; прочности на разрыв при растяжении (разрывной длины) – ГОСТ 13525.1. Использован также ряд нестандартных методов определения медного числа, массовой доли лигнина [6] и «вредной» смолы [10].

Оптимальные условия обработки целлюлозы при отбелке по указанным схемам приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Оптимальные условия обработки бисульфитной целлюлозы (степень провара 125 п. е.) на ступенях Пк, Хт₁ и Хт₂ при отбелке по схеме Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К

Ступень обработки	Реагент для обработки	Расход реагента, % от абс. сухого волокна	Температура процесса, °С	Продолжительность процесса, мин
Пк	H ₂ O ₂	4,50	60	160
Хт ₁	NaClO ₂ : ед. акт. хлора ед. ClO ₂	4,00 1,52	67	120
Хт ₂	NaClO ₂ : ед. акт. хлора ед. ClO ₂	2,30 0,87	67	120

Таблица 2

Оптимальные условия обработки сульфитной целлюлозы (степень провара 100 п. е.) на основных ступенях отбелки по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К

Ступень обработки	Реагент для обработки	Расход реагента, % от абс. сухого волокна	Температура процесса, °С	Продолжительность процесса, мин
ЩП	NaOH H ₂ O ₂	2,0 0,5	75	30
Пд	H ₂ O ₂ NaOH Трилон Б	2,0 2,0 0,5	80	110
П	H ₂ O ₂ NaOH Na ₂ SiO ₃	1,7 0,7 1,7	85	150

Оптимальные расходы отбеливающих реагентов (пероксида водорода и хлорита натрия) несколько завышены по сравнению с традиционной отбелкой сульфитной целлюлозы, что обусловлено использованием для отбелики весьма жесткой целлюлозы (с высоким содержанием лигнина: 7,50 и 4,00 % в бисульфитной и сульфитной целлюлозе соответственно).

Температурные условия обработки целлюлозы на основных ступенях отбелики, приведенные в табл. 1, а также на ступенях щелочения, проведенных при традиционных условиях (60 °С), дают основание считать, что при отбелке бисульфитной целлюлозы по предлагаемой схеме возможна организация в отбельном цехе однотемпературного потока.

Включение в схему отбелики жесткой сульфитной целлюлозы предварительного окислительного щелочения в присутствии пероксида водорода обеспечивает создание на ранней стадии отбелики условий, обеспечивающих эффективную делигнификацию и отбелку целлюлозы на всех последующих этапах обработки.

С учетом особенности схемы отбелики, заключающейся в использовании и для делигнификации, и для отбелики (добелки) целлюлозы одного окислительного реагента – пероксида водорода, а также исходной небеленой целлюлозы высокой жесткости (100 п. е.), оптимальный общий расход пероксида водорода весьма умеренный. Однако оптимальные температуры обработки целлюлозы на основных ступенях отбелики несколько превышают применяемые традиционно при обычной отбелке целлюлозы.

В табл. 3, 4 приведены некоторые результаты отбелики бисульфитной и сульфитной целлюлозы при оптимальных условиях.

Из результатов отбелики по ЕСF- и ТСF-технологиям следует, что при отбелке до практически одинаковой белизны выход беленой целлюлозы

Таблица 3

**Результаты отбелики бисульфитной целлюлозы
по схеме (Пк-Щ-Хт₁-ЩП-Хт₂-К)**

Показатель	Значение показателя для целлюлозы		
	небеленой	после делигнификации (Пк-Щ)	беленой
Степень провара, п.е.	125	87	11
Число Каппа	43,2	24,7	1,2
Белизна, %	60,0	60,3	88,2
Выход беленой целлюлозы, % от небеленой	–	95,7	91,7
Медное число, г Cu/100 г целлюлозы	0,96	1,75	0,75
Разрывная длина (60 °ЩР; 75 г/м ²), м	10 700	10 300	9 700
Содержание в целлюлозе:			
смола и жиров, %	1,57	0,77	0,19
«вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	27,00	7,56	3,53
лигнина, %	7,50	4,15	0,22

Таблица 4

Результаты отбелки сульфитной целлюлозы по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К

Показатель	Значение показателя для целлюлозы		
	небеленой	после делигнификации (ЩП-Пд-Кук)	беленой
Степень провара, п. е.	100	56	38
Число Каппа	26,8	11,4	5,4
Белизна, %	62,3	84,2	87,0
Выход беленой целлюлозы, % от небеленой	–	95,7	93,5
Медное число, г Си/100 г целлюлозы	1,07	1,20	1,24
Разрывная длина (60 °СР; 75 г/м ²), м	8 700	7 600	7 200
Содержание в целлюлозе:			
смол и жиров, %	1,55	0,90	0,65
«вредной» смолы, мг/100 г целлюлозы	35,2	5,6	2,1
лигнина, %	4,00	1,50	1,08

составляет соответственно 91,7 и 93,5 %, т. е. в процессе отбелки теряются 8,3 и 6,5 % компонентов небеленой целлюлозы, из которых при отбелке бисульфитной целлюлозы на лигнин приходится 7,3 %, при отбелке сульфитной целлюлозы – 3,0 %. Обусловлено это использованием для отбелки по ЕСФ-схеме бисульфитной целлюлозы с высоким содержанием лигнина.

Использованные для отбелки целлюлозы в обеих схемах отбеливающие реагенты воздействуют на целлюлозу довольно мягко, на что указывает умеренное изменение в процессе отбелки механической прочности целлюлозы (разрывной длины) и медного числа.

Обращает на себя внимание весьма важный результат отбелки целлюлозы по обеим схемам – высокая степень обессмоливания целлюлозы как по общей, так и по «вредной» смоле. Считается, что при таком низком содержании смолы в беленой целлюлозе «смоляные затруднения» в производстве отсутствуют, т. е. решается весьма сложная проблема сульфитцеллюлозного производства – устраняются смоляные затруднения.

Качественные характеристики сточных вод, сбрасываемых на внеплощадочные очистные сооружения или в природные водоемы, являются одним из основных аспектов, позволяющих обосновать необходимость внедрения в производство ЕСФ-технологий отбелки. В настоящее время к сточным водам предъявляются весьма жесткие требования. Согласно нормативам ЕС [2], загрязнение биологически очищенных сточных вод при производстве беленой целлюлозы не должно превышать следующих уровней, кг/т возд.-сух. целлюлозы: биохимическое потребление кислорода (БПК₅) – 0,33...1,50; химическое потребление кислорода (ХПК) – 10... 23; адсорбированные органические галогены (АОХ) – 0,25.

Рассмотрим основные характеристики промывных вод, образующихся при отбелке жесткой бисульфитной хвойной целлюлозы по разработанной ЕСФ-схеме и отбелке сульфитной целлюлозы по ТСФ-схеме.

Качественные показатели промывных вод после отдельных ступеней отбелки бисульфитной хвойной целлюлозы по ECF-схеме Пк-Щ-ХТ₁-ЩП-ХТ₂-К приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели промывных вод по ступеням отбелки жесткой бисульфитной целлюлозы

Показатель	Значения показателя						
	по ступеням					суммарные	
	Пк	Щ	ХТ ₁	ЩП	ХТ ₂	до биологической очистки	после биологической очистки
БПК ₅ , кг/т возд.-сух. волокна	0,77	0,82	0,65	0,68	0,14	3,06	0,03
ХПК, кг/т возд.-сух. волокна	10,2	10,9	9,4	6,7	3,6	40,8	18,4
pH	3,8	10,4	4,2	9,8	4,5	–	–
АОХ*	0,838					0,838	0,251

* Характеризует образующееся при отбелке количество хлорорганических соединений и рассчитывается по эмпирической формуле Гермгарда [3].

Из табл. 5 видно, что наиболее загрязненными являются промывные воды после ступеней Пк, Щ и ХТ₁, так как именно на этих ступенях удаляется основная часть лигнина.

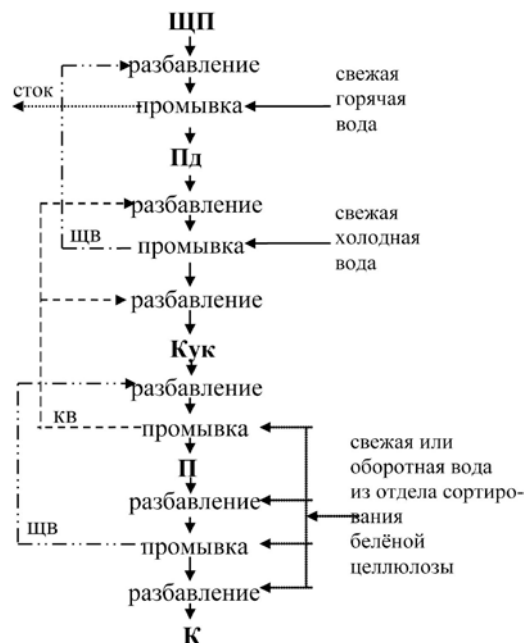
Учитывая, что биологическая очистка сточных вод позволяет снизить показатели ХПК и АОХ на 55 и 70 % соответственно [5, 4], БПК₅ – на 99 % (по данным ОАО ЦБК «Кама»), биологически очищенные сточные воды после отбелки бисульфитной целлюлозы по разработанной схеме будут характеризоваться (ориентировочно) следующими качественными показателями, кг/т возд.-сух. целлюлозы: БПК₅ – 0,03, ХПК – 18,37, АОХ – 0,251.

Таким образом, по уровню загрязненности сточных вод разработанная технология отбелки бисульфитной целлюлозы по схеме Пк-Щ-ХТ₁-ЩП-ХТ₂-К вполне отвечает современным требованиям.

Качественные показатели промывных вод после отбелки сульфитной целлюлозы только пероксидом по предлагаемой схеме ЩП-Пд-Кук-П-К (см. рисунок) существенно отличаются от приведенных выше. Окисляемость промывных вод в этом случае связана с содержанием в них значительного количества остаточного пероксида водорода и активной щелочи. Такие промывные воды целесообразно рециркулировать по противоточной схеме в целях более полного использования отбельных реагентов.

В данной схеме щелочные промывные воды после ступени окислительного щелочения, как наиболее загрязненные, направляются на нейтрализацию и далее на очистные сооружения; эти воды целесообразно пропустить через теплообменник в целях получения теплой воды. Щелочные промывные воды ступени пероксидной делигнификации поступают на разбавление массы после

Рис.1 Схема противоточной промывки целлюлозы в процессе отбелки по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К: ЩВ – щелочная промывная (оборотная) вода; КВ – кислая промывная (оборотная) вода



окислительного щелочения, от пероксидной отбелки – на разбавление массы после промежуточной обработки уксусной кислотой. Кислые промывные воды ступени промежуточной кислотки используют для разбавления массы после пероксидной делигнификации. Для промывки массы и разбавления целлюлозы после пероксидной отбелки применяют свежую воду.

По предлагаемой схеме с противоточной промывкой массы проведена в лабораторных условиях серия отбелок для определения качественных показателей промывных вод, сбрасываемых в сток. Результаты эксперимента приведены в табл. 6.

Таблица 6

Показатели сточных вод при отбелке по схеме ЩП-Пд-Кук-П-К с противоточной промывкой сульфитной целлюлозы

Показатель	Значение показателя сточной воды	
	до биологической очистки	после биологической очистки
Содержание в воде, кг/т возд.-сух. волокна:		
активного хлора	Отсутствует	Отсутствует
пероксида водорода	6,6	–
щелочи (ед. NaOH)	22,4	–
Окисляемость воды, кг/т возд.-сух. волокна:		
бихроматная (ХПК)	33,0	14,9
перманганатная (ПМК)	15,4	Нет свед.
биологическая (БПК ₅)	10,9	1,1
pH	10,2	Нет свед.

По уровню загрязненности сточных вод предлагаемая ТСФ-схема отбелики сульфитной целлюлозы также отвечает современным требованиям.

Таким образом, предлагаемые ЕСФ- и ТСФ-схемы отбелики бисульфитной и сульфитной целлюлозы дают положительные результаты по выходу, показателям качества и степени обессмоливания целлюлозы, по уровню загрязненности сточные воды отвечают современным требованиям.

Выводы

1. Для отбелики жесткой бисульфитной целлюлозы с содержанием лигнина более 7 % предложена ЕСФ-схема с делигнификацией пероксидом водорода в кислой среде и отбеликой хлоритом натрия (Пк-Щ-Х_{T1}-ЩП-Х_{T2}-К), для отбелики сульфитной целлюлозы с содержанием лигнина до 4 % – ТСФ-схема только пероксидом водорода как для делигнификации, так и для отбелики (ЩП-Пд-Кук-П-К).

2. Процесс отбелики по предложенным схемам характеризуется мягким окислительным воздействием на компоненты целлюлозы: для бисульфитной целлюлозы на лигнин приходится 88 % химических потерь, для сульфитной – 46 % (при выходе беленой целлюлозы соответственно 91,7 и 93,5 % от небеленой).

3. Отбелка по предложенным схемам обеспечивает высокую степень обессмоливания целлюлозы по общей и «вредной» смоле, что способствует устранению смоляных затруднений, т. е. решению весьма сложной проблемы сульфитцеллюлозного производства.

4. Основные показатели промывных вод указывают на то, что по уровню загрязненности сточных вод предлагаемые технологии отвечают современным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аким Г.Л. Бесхлорная отбелка целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2001. № 5-6. С. 24–28.
2. Боголицын К.Г., Соболева Т.В., Гусакова М.А., Почтовалова А.С., Личутина Т.В. Научные основы эколого-аналитического контроля промышленных сточных вод ЦБП. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 167 с.
3. Миловидова Л.А. Комарова Г.В., Королева Т.А. Отбелка целлюлозы: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 130 с.
4. Неволин В.Ф., Шпаков Ф.В. Об устойчивости хлорированных органических соединений в технологических средах и сточных водах ЦБП // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 9. С. 38–43.
5. Неволин В.Ф., Шпаков Ф.В., Стебунов О.Б. Результаты исследований для установления нормативов при сбросе хлорорганических соединений // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2003. № 3-4. С. 36–38.
6. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.

7. Пат. 2315831 РФ, МПК Д 21 С 9/10, 9/16. Способ делигнификации целлюлозы / Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Носкова О.А., Нагимов Д.Р. № 2006118774/12; заявл. 30.05.2006; опубл. 27.01.2008.

8. Пат. 2503764 РФ, МПК Д 21 С 9/10. Способ отбели бисульфитной целлюлозы / Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Синяев К.А., Носкова О.А. – № 2012151136/12; заявл. 28.11.2012; опубл. 10.01.2014.

9. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics. Красноярск: Кларетианум, 2003. 246 с.

10. Старостенко Н.Н., Непенин Н.Н. Сравнительное изучение способов определения вредной смолистости целлюлозы и их характеристика // Сб. тр. ЛТА. 1980. Вып. № 80. С. 3–17.

11. Хакимова Ф.Х., Нагимов Д.Р., Хакимов Р.Р., Носкова О.А. Новые решения в технологии бесхлорной отбели целлюлозы // Журн. приклад. химии. 2013. Вып. 10, т. 86. С.1565–1570.

12. Хакимова Ф.Х., Синяев К.А., Ковтун Т.Н. Отбелка сульфатной хвойной целлюлозы по ECF-технологии пероксидом водорода и хлоритом натрия // Лесн. журн. 2012. №4. С. 112–121. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 07.07.15

UDC 676.164.3.023.1

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.3.147

Environmentally Sound Technology of Sulphite Pulp Bleaching

F.Kh. Khakimova, Doctor of Engineering Sciences, Professor

K.A. Sinyayev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

D.R. Nagimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, Perm Krai, 614990, Russian Federation; e-mail: tcbp@pstu.ru

The work objective is to evaluate the feasibility of bisulphite pulp bleaching with a high content of residual lignin (7.5 %) by the Elemental Chlorine Free (ECF)-technology with hydrogen peroxide in acidic conditions, sodium chlorite, and sulphite pulp – by the Total Chlorine Free (TCF)-technology with hydrogen peroxide according to the authors' schemes. Bleaching is carried out in the laboratory conditions. The pulp processing conditions for individual bleaching stages are optimized with the use of the statistical analysis software package Statgraphics V.5.0. Both schemes of bleaching for hard bisulfite and sulfite pulp are characterized by the soft oxidative attack on the pulp components, very positive output results, quality parameters of pulp and a high degree of pulp depitching for general and "harmful" resin that helps to eliminate "pitch difficulties". The main parameters of wash water indicate the continuing suitability of the proposed technologies by the level of contamination of wastewater. The proposed scheme of ECF-bleaching with the replacement of the oxygen-alkali treatment by the peroxide delignification and chlorine dioxide by the water soluble and explosion-proof sodium chlorite is designed for bleaching of sulphate and hard bisulfite pulp. The scheme can be successfully implemented in any existing pulp and paper mill without the significant capital expenditure. The introduction of TCF-bleaching with hydrogen peroxide also does not require large investments.

Keywords: sulphite pulp, elemental chlorine free bleaching, hydrogen peroxide, sodium chlorite, pulp quality parameters, wastewater.

REFERENCES

1. Akim G.L. Beskhlornaya otbelka tsellyulozy [Chlorine-Free Pulp Bleaching]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2001, no. 5–6, pp. 24–28.
2. Bogolitsyn K.G., Soboleva T.V., Gusakova M.A., Pochtvalova A.S., Lichutina T.V. *Nauchnye osnovy ekologo-analiticheskogo kontrolya promyshlennykh stochnykh vod TsBP* [Scientific Fundamentals of the Environmental Analytical Control of PPI Industrial Wastewater]. Yekaterinburg, 2010. 167 p.
3. Milovidova L.A. Komarova G.V., Koroleva T.A. *Otbelka tsellyulozy* [Pulp Bleaching]. Arkhangelsk, 2005. 130 p.
4. Nevolin V.F. Shpakov F.V. Ob ustoychivosti khlorirovannykh organicheskikh soedineniy v tekhnologicheskikh sredakh i stochnykh vodakh TsBP [On the Stability of Chlorinated Organic Compounds in the Industrial Environments and PPI Wastewater]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2007, no. 9, pp. 38–43.
5. Nevolin V.F., Shpakov F.V., Stebunov O.B. Rezul'taty issledovaniy dlya ustanovleniya normativov pri sbrose khlororganicheskikh soedineniy [The Research Results for the Regulatory Standards in the Organochlorine Compounds Discharge]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2003, no. 3–4, pp. 36–38.
6. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesyiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1991. 320 p.
7. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Noskova O.A., Nagimov D.R. *Sposob delignifikatsii tsellyulozy* [Method of Pulp Delignification]. Patent RF, no. 2315831, 2006.
8. Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Sinyaev K.A., Noskova O.A. *Sposob otbelki bisul'fitnoy tsellyulozy* [Method of Bisulfite Pulp Bleaching]. Patent RF, no. 2503764, 2012.
9. Pen R.Z. *Planirovanie eksperimenta v Statgraphics* [Experimental Design in Statgraphics]. Krasnoyarsk, 2003. 246 p.
10. Starostenko N.N., Nepenin N.N. Sravnitel'noe izuchenie sposobov opredeleniya vrednoy smolistosti tsellyulozy i ikh kharakteristika [Comparative Study of the Determination Methods of Pulp Harmful Gummosity and Their Characteristics]. *Sbornik trudov Leningradskoy lesotekhnicheskoy akademii im. S.M. Kirova* [Proc. Leningrad Forest Technical Academy under name of S.M. Kirov], 1980, no. 80, pp. 3–17.
11. Khakimova F.Kh., Nagimov D.R., Khakimov R.R., Noskova O.A. Novye resheniya v tekhnologii beskhlornoy otbelki tsellyulozy [New Technology Solutions in the Pulp Elemental Chlorine Free Bleaching]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2013, iss. 10, vol. 86, pp. 1565–1570.
12. Khakimova F.Kh., Sinyaev K.A., Kovtun T.N. Otbelka sul'fatnoy khvoynoy tsellyulozy po ECF-tekhnologii peroksidom vodoroda i khloritom natriya [Bleaching of Sulphate Softwood Pulp by ECF-Technology with Hydrogen Peroxide and Sodium Chlorite]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 112–121.

Received on July 07, 2015

УДК 676.274

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.157

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КРАФТ-ЛАЙНЕРА*

О.С. Беляев¹, асп., вед. инж.

Я.В. Казаков², д-р техн. наук, проф.

¹ ОАО «Архангельский ЦБК», ул. Мельникова, д. 1, г. Новодвинск, Россия, 164900; e-mail: boset@atnet.ru

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

Представлены результаты сравнительной оценки величины и вариации физико-механических характеристик картона-лайнера с использованием разрушающих и неразрушающих методов измерения. На образцах картона-лайнера с массой 115, 140 и 170 г/м², отобранных с картоно-делательной машины в виде срезов с тамбура длиной 6 300 мм, выполнены измерения и получены профили механических характеристик – толщины, сопротивления продавливанию, сопротивления сжатию короткого образца, жесткости при изгибе, а также характеристик, измеренных неразрушающими методами – ультразвуковым с применением Lorentzen&Wettre TSO-tester и оптическим с применением PTA-Line Formation Tester. Установлено, что при низкой степени изменчивости толщины (коэффициент вариации 1,6...3,7 %) и индекса жесткости при растяжении в машинном направлении (2,1...2,9 %) картона по ширине картоно-делательной машины вариация механических характеристик существенно (в 4–8 раз) выше. Причиной этого является высокая неоднородность структуры, при этом с уменьшением массы 1 м² картона вариация практически всех характеристик повышается. По результатам анализа профилей характеристик по ширине картоно-делательной машины установлено, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине машины). Сделан вывод, что для снижения вариации механических характеристик, недостаточно управлять только массой 1 м², влажностью и толщиной, а также контролировать угол между максимальным индексом жесткости при растяжении и жесткостью при растяжении в машинном направлении, необходимо управлять качеством формования, а также наметать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика. По результатам корреляционного анализа подтверждено существование зависимости между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами. Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности прогнозирования величин сопротивления продавливанию, жесткости при изгибе и сопротивления сжатию короткого образца крафт-лайнера на основании не только измерения толщины и профиля индекса жесткости при растяжении, но и с

* Работа выполнена в инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

учетом неоднородности структуры картона, оцениваемой на анализаторе формования. Причем все исходные данные могут быть получены неразрушающими методами, а в перспективе и с применением on-line технологий измерения. Результаты позволят повысить достоверность оценки качества картона.

Ключевые слова: картон, вариация свойств, жесткость, формование, анизотропия.

Потребительские свойства гофрированного картона и ящиков зависят, прежде всего, от вида и совокупности свойств исходных материалов. Механическая прочность картона-лайнера является решающим фактором, определяющим способность к переработке на гофроагрегате и последующие потребительские свойства тары из гофрированного картона. Важно отметить, что механическое поведение материалов при силовом воздействии складывается из способности к деформированию (жесткости при растяжении и изгибе, вязкоупругих свойств, устойчивости и т. д.) и прочности [9].

Основными характеристиками картона-лайнера, которые определяются для присвоения ему соответствующей марки, являются: масса 1 м^2 , сопротивление продавливанию, поверхностная впитываемость воды по Коббу, разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT), воздухопроницаемость, сопротивление сжатию короткого образца (SCT) и влажность [4].

В настоящее время неразрушающие методы применяются для измерения массы 1 м^2 , влажности и толщины картона или бумаги в режиме on-line.

Основное преимущество неразрушающих методов отражено в их названии – при их проведении не происходит разрушение материала, поэтому возможно определение других характеристик на этом же образце. Другим важным преимуществом является скорость их выполнения и, как следствие, возможность проведения измерений в режиме on-line.

Наиболее часто в исследовательской практике применяются ультразвуковые и оптические неразрушающие методы исследования свойств бумаги и картона.

Ультразвуковой (УЗ) метод определения упругих свойств материалов, получивший широкое распространение для определения свойств бумаги, был разработан в 60-х гг. XX в., а к 80-м были найдены зависимости скорости прохождения ультразвука в плоскости бумаги от ее эластичности, а также от стандартных механических свойств (сопротивления разрыву, раздиранию, сжатию и продавливанию). Тогда было начато промышленное производство приборов для ультразвукового тестирования бумажных материалов [15].

В настоящее время на предприятиях бумажной промышленности определенное распространение получил L&W TSO Tester компании «Lorentzen & Wettre» (L&W) для определения анизотропии жесткости при растяжении и «направления максимальной упругости волокон» (Tensile Stiffness Orientation – TSO) [10, 15].

Результаты единичных измерений могут быть представлены в виде диаграммы TSO в полярных координатах (рис. 1).

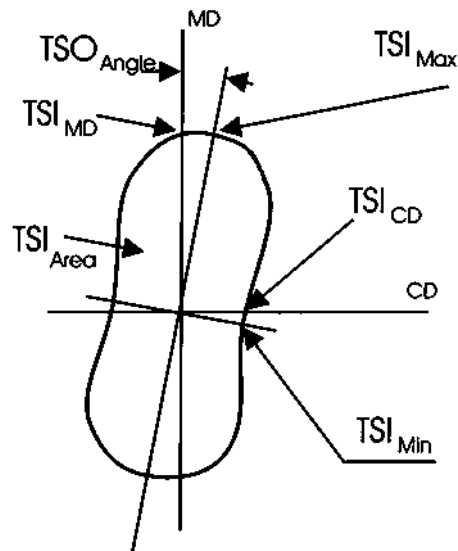


Рис. 1. Диаграмма TSO в полярных координатах и вычисляемые характеристики

С помощью тестера L&W TSO измеряют следующие характеристики:

TSO_{angle} (угол TSO) – угол между максимальным индексом жесткости при растяжении и жесткостью при растяжении в направлении MD (угол ориентации жесткости при растяжении, или полярный угол), град;

TSI_{MD} – индекс жесткости при растяжении в машинном направлении, кН·м/г;

TSI_{CD} – индекс жесткости при растяжении в поперечном направлении, кН·м/г;

$TSI_{MD/CD}$ – отношение индекса жесткости при растяжении в машинном направлении к индексу жесткости при растяжении в поперечном направлении (степень анизотропии индекса жесткости при растяжении);

TSI_{min} – минимальное измеренное значение индекса жесткости, кН·м/г;

TSI_{max} – максимальное измеренное значение индекса жесткости, кН·м/г;

TSI_{area} – площадь «арахисоподобного» эллипса, м².

По мнению разработчиков и пользователей метода [10, 15], угол TSO является наиболее часто используемым параметром. В основном его связывают с ориентацией волокон, однако она представляет собой лишь один из факторов анизотропии жесткости картона при растяжении. Другими фактором являются внутренние деформации и напряжения, которые возникают в процессе изготовления бумаги или картона при обезвоживании, прессовании, сушке, машинной отделке.

Согласно рекомендациям разработчиков прибора, на основе полученных характеристик (углов TSO и индексов жесткости в машинном и попереч-

ном направлениях) строится профиль по каждому из этих свойств в направлении от лица бумагоделательной машины (БДМ) к приводу. Эти профили служат для оценки работы БДМ и оптимизации ее работы [10, 15].

Как указывают разработчики метода, результаты измерений на L&W TSO можно использовать для прогнозирования стандартных характеристик качества бумаги и картона. Так, в работах [1, 10, 15] приводятся сведения, что SCT и TSI имеют линейную корреляцию с достаточно высокой величиной коэффициента корреляции ($r^2 = 0,85 \dots 0,95$). При этом для получения достоверных результатов значения TSI_{CD} , SCT_{CD} и массы 1 м^2 должны измеряться на одной и той же позиции. В России также накоплен достаточный и успешный опыт использования TSO-тестера для контроля качества крафт-лайнера [1, 5, 8].

Оптический метод измерения неоднородности позволяет оценить локальную неоднородность листа по непрозрачности. Неоднородность структуры, образующаяся при формовании бумажного полотна, связана с неоднородностью распределения массы в плоскости полотна бумаги. Часто качество формования оценивают визуально, просматривая лист на просвет [3, 12].

Характеристика локальной неоднородности по массе может быть количественно измерена с помощью разных видов излучения, поскольку локальная непрозрачность обычно соответствует локальным колебаниям по массе. Неоднородность структуры является фундаментальной характеристикой бумаги, которая зависит от природы волокна, композиции, характеристик БДМ и многих производственных параметров. Большая часть свойств бумаги, например прочностные свойства и печатные свойства, зависит от качества формования [3].

Качество формования определяет неоднородность структуры бумаги, его можно использовать для установления корреляции между значениями характеристик качества формования и свойствами бумаги и картона (прочностные, деформационные и печатные свойства), а также параметрами процесса (концентрации при отливе, расходы химикатов мокрой части, соотношение скоростей струя/сетка и др.).

Точная количественная оценка качества формования полотна дает возможность улучшить печатные свойства бумаги, повысить прочностные характеристики, увеличить непрозрачность. Кроме того, это позволяет увеличить производительность машины за счет снижения количества обрывов и выработки несортовой продукции [12].

Одной из наиболее часто применяемых для оценки качества формования бумаги характеристик является индекс формования. Было установлено, что характеристики общей неоднородности структуры имеют тесную корреляцию с физико-механическими свойствами бумаги [6], для картона таких тесных зависимостей не выявлено [7]. Основным фактором, вызывающим плохое формование, является флокуляция волокон. Более полную количественную оценку формованию позволяет дать учет вклада неоднородностей (флокул) различных размеров, от одного до нескольких десятков миллимет-

ров. При этом на свойства различных видов бумаги или картона оказывают флокулы определенных размеров, свои для каждого вида бумаги.

Современные приборы позволяют дать количественную оценку качества формования бумаги с учетом неоднородностей различных размеров. На рис. 2, *а* представлен пример изображения, получаемого на анализаторе формования в плоскополяризованном проходящем свете [14]. За счет применения программы [11] были получены изображения с различной степенью сглаживания (рис. 2, *б-г*), что позволяет визуально выделить неоднородности различных размеров.

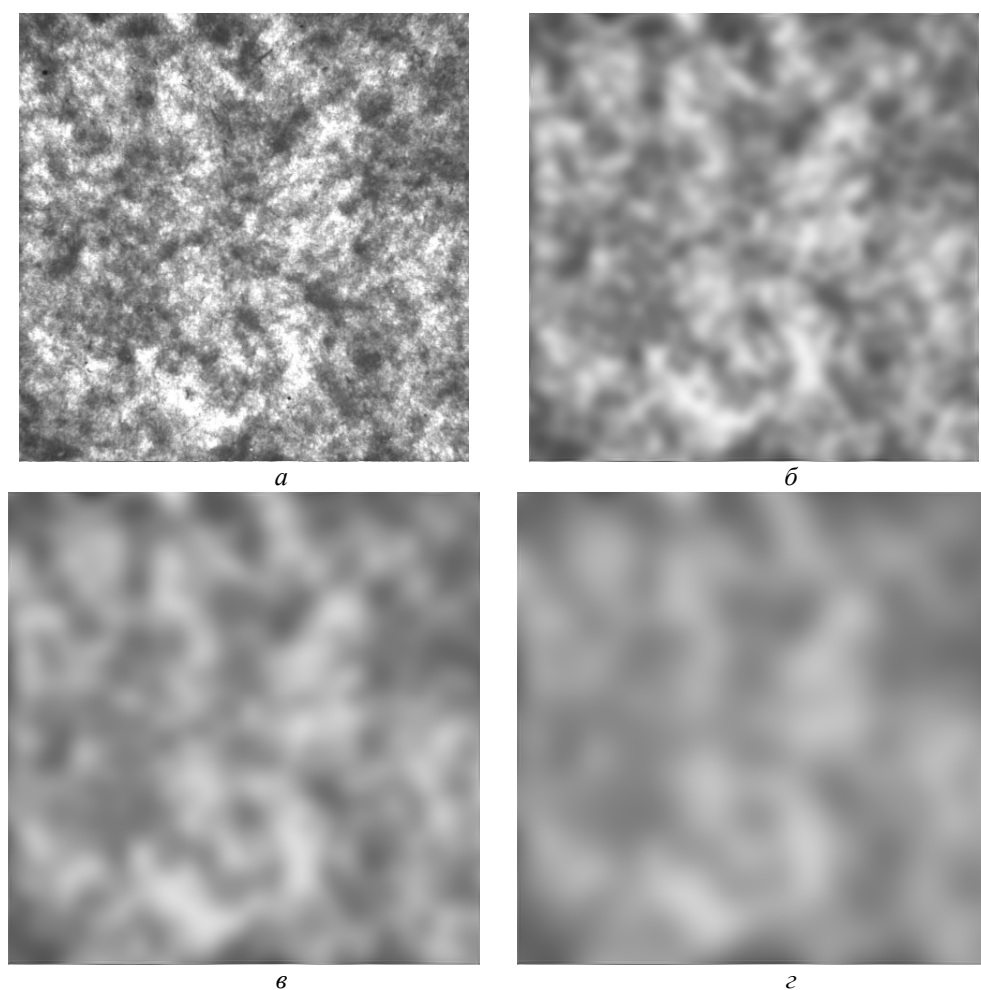


Рис. 2. Изображение, полученное на анализаторе формования РТА-Line Formation Tester: *а* – без сглаживания, *б-г* – с различной степенью сглаживания с применением программы [11]

Авторы работы [13] попытались определить, какие диапазоны формирования важны для определенного свойства бумаги путем обработки экспериментальных данных с применением корреляционного анализа. Как показали Берни и Дуглас [13], для картона-лайнера высшего качества (масса $1 \text{ м}^2 - m = 161 \text{ г}$) корреляции между сопротивлением продавливанию и значениями формирования с размером неоднородностей $0,5 \dots 0,7 \text{ мм}$, а также 7 мм и более, нет. Следовательно, диапазоны с частицами мелкого и крупного размеров формирования не влияют на сопротивление продавливанию картона-лайнера. Однако для размера неоднородностей $4,5 \dots 6,7 \text{ мм}$ имеем $r^2 = 0,72$. Это указывает на высокую чувствительность сопротивления продавливанию к неоднородностям структуры в этом диапазоне. Следовательно, управляя формированием в пределах размера частиц от 2 до 6 мм , можно гарантировать хорошее сопротивление продавливанию.

Анализатор формирования PTA-Line Formation Tester [14] обрабатывает цифровое изображение участка бумаги размером $12 \times 12 \text{ см}$ в поляризованном проходящем свете и с применением частотного Фурье-анализа выдает следующие характеристики: индекс формирования I_f , характеризующий сумму интенсивности колебаний неоднородности яркости пикселей; L_x и L_y – средний размер флокул в направлении осей OX и OY , мм; Θ – средний угол ориентации флокул, град; вклад неоднородностей размерами $1, 2, 3, 6, 10$ и 16 мм .

Для оценки степени варьирования неразрушающих характеристик качества картона-лайнера, полученных ультразвуковым и оптическим методами, и возможности прогнозирования на их основе стандартных характеристик механической прочности и жесткости были проведены серии экспериментов. Для исследования использовали картон крафт-лайнер массой 1 м^2 : $115, 140$ и 170 г , содержащий в композиции сульфатную хвойную целлюлозу высокого выхода и лиственную полуцеллюлозу.

У исследованных образцов в виде полосы картона, подготовленной с помощью подрезчика L&W Sample Trimmer, длиной 6300 мм и шириной 300 мм (длина полосы соответствует ширине картоно-делательной машины (КДМ)) через каждые 100 мм выполнены в одних и тех же точках измерения:

а) неразрушающие характеристики на целой полосе картона:

анизотропия жесткости при растяжении ультразвуковым методом на приборе L&W TSO Tester [15];

оценка неоднородности структуры на анализаторе формирования PTA-Line Formation Tester [14];

толщина картона δ на приборе L&W Micrometer по ГОСТ 27015–86;

б) характеристики жесткости и прочности на вырезанных из полосы картона образцах:

индекс жесткости при изгибе S_b^{CD} на приборе Messmer Buchel 116- BD по ГОСТ ISO 2493–96;

индекс сопротивления сжатию короткого образца SCT на приборе ИТС-403 (Иваново) по ISO 9895:1989;

индекс сопротивления продавливанию Π на приборе L&W Bursting Strength Tester по ГОСТ 13525.8–86.

Образцы картона отбирали через равные промежутки времени. На каждом образце выполнено по 62 измерения набора характеристик. Всего исследовано по 5 образцов для каждой массы 1 м².

Для всех измеренных характеристик проведена статистическая обработка и рассчитаны характеристики: среднее значение \bar{X} ; среднеквадратическое отклонение σ_X ; минимальное X_{\min} и максимальное X_{\max} значение; размах варьирования R , коэффициент вариации v [2]. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Статистическая характеристика показателей крафт-лайнера

Показатель	Значение показателя для картона с массой 1 м ² , г					
	115		140		170	
	\bar{X}	$v, \%$	\bar{X}	$v, \%$	\bar{X}	$v, \%$
δ , мкм	175	3,7	209	3,1	256	1,6
TSI _{MD} , кН·м/г	13,3	2,1	13,5	2,7	12,9	2,9
TSI _{CD} , кН·м/г	4,6	10,6	4,7	7,9	4,5	7,1
TSI _{MD/CD}	2,93	11,3	2,9	6,9	2,9	5,4
TSI _{Area} , кН·м ² /г	25,2	4,9	25,5	4,4	24,5	4,2
TSO-angle, °	-1,6	-	-0,9	-	0,4	-
I _ф	338	6,1	348	4,5	363	7,5
Размер неоднородностей, мм:						
1	86,7	12,9	85,4	14,5	94,1	16,1
3	85,4	17,8	83,4	19,8	83,5	22,1
6	32,3	61,0	50,6	47,6	45,0	54,1
S _b ^{CD} , кН·м/кг	3,3	20,3	3,5	14,1	4,9	10,6
SCT _{CD} , кН/м/кг	20,0	8,5	18,8	7,4	17,6	6,6
П, кПа/кг	4,25	13,6	3,97	7,7	3,7	8,7

Сравнение степени изменчивости показателей по ширине КДМ на основании коэффициента вариации v для стандартных характеристик показало, что при малой вариации толщины ($v = 1,6...3,7 \%$), которая контролируется и поддерживается в заданных пределах АСУТП, вариация сопротивления продавливанию составляет 7,7...13,6 %, сопротивления сжатию SCT_{CD} – 6,6...8,5 %, сопротивления изгибу S_b^{CD} – 10,6...20,3 %.

Применение неразрушающих методов контроля качества картона дало следующий результат: вариация жесткости при растяжении, измеренной ультразвуковым способом, составила в машинном направлении (TSI_{MD}) – 2,1...2,9 %, в поперечном направлении (TSI_{CD}) – 7,1...10,6 %, по анизотропии TSI_{MD/CD} – 5,4...11,3 %.

Вариация характеристик неоднородности структуры, измеренная оптическим способом, составила: по индексу формования, оценивающему общую неоднородность, – 4,5...7,5 %, по неоднородностям размером 6 мм – 47,6...61,0 %.

Из полученных данных следует, что причиной высокой вариации механических показателей является высокая неоднородность структуры, при этом четко видно, что с уменьшением массы 1 м^2 картона вариация практически всех характеристик возрастает.

Природу и причины высокой вариации можно оценить по профилям характеристик. Результаты анализа вариации характеристик картона крафт-лайнера по ширине тамбура КДМ представлены на рис. 3, 4.

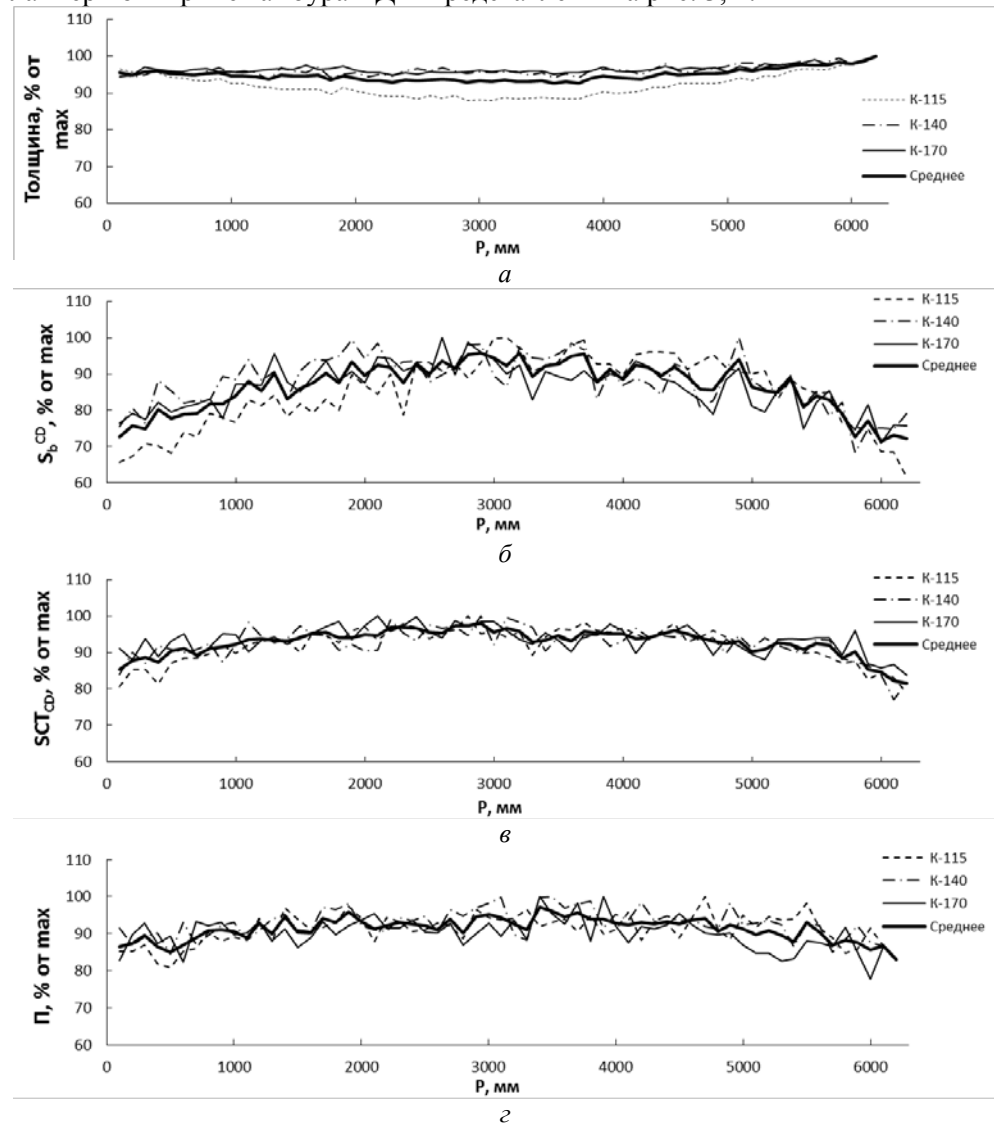


Рис. 3. Изменение стандартных характеристик крафт-лайнера по ширине КДМ: а – толщина; б – жесткость при изгибе; в – сопротивление сжатию на коротком расстоянии; г – сопротивление продавливанию (здесь и далее, на рис. 4, Р – позиция по ширине КДМ)

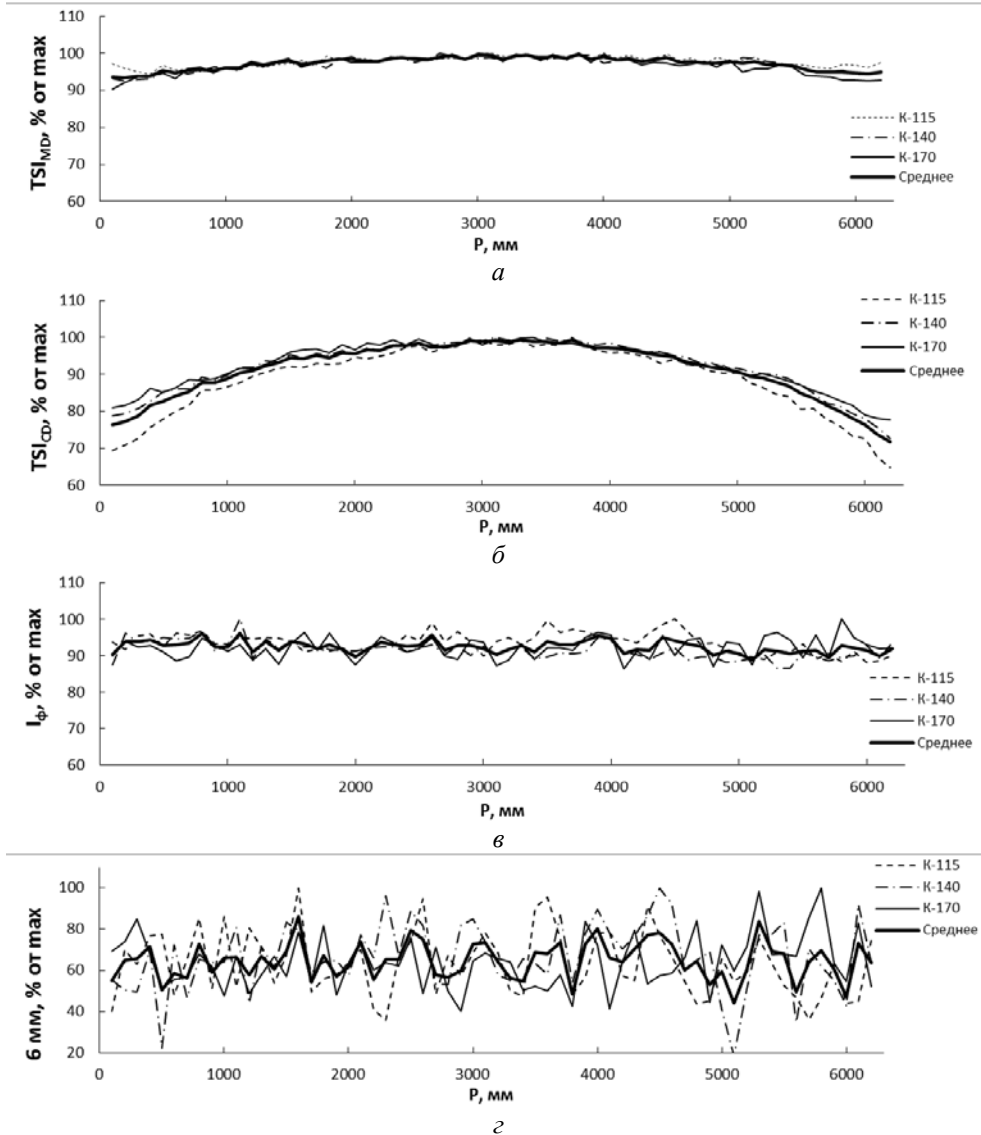


Рис. 4. Изменение неразрушающих характеристик крафт-лайнера по ширине КДМ: *а* – жесткость при растяжении в машинном направлении; *б* – жесткость при растяжении в поперечном направлении; *в* – индекс формования; *г* – формование с размером неоднородностей 6 мм

Профили для каждой массы 1 м^2 представляют собой среднее значение для 5 образцов, при этом на графиках показано относительное значение, которое получено путем деления величины характеристики в каждой точке на максимальное значение по ширине КДМ и представляет процент от максимальной величины характеристики.

Результаты измерения толщины δ (см. рис. 3, а), жесткости при изгибе S_b^{CD} (рис. 3, б), сжатии SCT_{CD} (рис. 3, в) и растяжении TSI_{CD} (рис. 4, б) указывают на существование зависимости величины характеристик от местоположения точки испытания по ширине КДМ и отличие свойств с краев тамбура и в его середине.

Анализ результатов оценки качества формования, напротив, демонстрирует неравномерность по соседним точкам, которая практически не зависит от положения точки измерения. В определенной степени это может быть обусловлено струйностью потока массы из напорного ящика.

Также обнаружено, что имеют место вариации механических характеристик в соседних точках – сопротивления продавливанию, изгибу и сжатию, что соответствует вариации индекса формования. Представленные профили показывают, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), и вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине КДМ).

Таким образом, для снижения вариации характеристик прочности (на примере сопротивления продавливанию), недостаточно управлять только массой 1 м^2 , влажностью и толщиной, а также контролировать угол TSO, надо управлять качеством формования и намечать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика.

Для количественной оценки взаимосвязи механических и неразрушающих характеристик для всех характеристик определены коэффициенты парной корреляции, результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2
Коэффициенты корреляции между неразрушающими и физико-механическими характеристиками картона

Физико-механические характеристики	m 1 м^2	δ	TSI_{CD}	$TSI_{MD/CD}$	TSI_{Area}	TSO-angle	I_ϕ	Размер неоднородностей, мм		
								1	3	6
П	115	-0,50	0,62	-0,62	0,63	-0,03	0,05	-0,22	0,17	-0,02
	140	-0,33	0,68	-0,65	0,68	-0,49	-0,28	-0,05	-0,10	0,22
	170	-0,37	0,59	-0,59	0,58	-0,38	-0,05	-0,28	-0,23	-0,05
SCT_{CD}	115	-0,85	0,91	-0,91	0,91	-0,42	0,40	-0,31	0,14	0,18
	140	-0,40	0,78	-0,81	0,77	-0,54	0,13	-0,28	-0,19	0,16
	170	-0,41	0,67	-0,68	0,67	-0,59	0,06	-0,14	-0,10	0,05
S_b^{CD}	115	-0,76	0,87	-0,84	0,88	-0,15	0,36	-0,45	0,08	0,17
	140	-0,47	0,77	-0,76	0,76	-0,64	0,08	-0,10	-0,17	0,22
	170	-0,44	0,82	-0,82	0,81	-0,68	-0,11	-0,14	0,13	-0,29

Для вычисления коэффициентов парной корреляции усредняли значения в каждой точке для 5 образцов, в результате получали по 62 значения для каждой характеристики картона по ширине КДМ. После этого рассчитывали коэффициенты парной корреляции для всех характеристик картона, определенных в ходе экспериментов.

Согласно полученным данным предполагаемая зависимость между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами, подтверждается. Например, коэффициенты парной корреляции между SCT_{CD} и TSI_{CD} для 170 г/м^2 – 0,67; для 140 г/м^2 – 0,78; для 115 г/м^2 – 0,91. Снижение массы 1 м^2 картона приводит к повышению тесноты корреляции. Отметим, что при наблюдающейся в настоящее время устойчивой тенденции к снижению массы 1 м^2 картона проблема неравномерности свойств картона будет только усугубляться. Одним из путей ее решения может стать более тщательный технологический контроль с использованием неразрушающих методов.

В результате проведенных исследований установлено:

1. При низкой степени изменчивости толщины ($v = 1,6...3,7 \%$) и TSI_{MD} ($v = 2,1...2,9 \%$) картона по ширине КДМ вариация физико-механических характеристик существенно (в 4–8 раз) выше. Причиной этого является высокая неоднородность структуры, при этом с уменьшением массы 1 м^2 картона вариация практически всех характеристик повышается.

2. По результатам анализа профилей характеристик по ширине КДМ установлено, что вариация сопротивления продавливанию, сжатию и изгибу складывается из вариации индекса формования (по соседним точкам), и вариации толщины и жесткости при растяжении (зависимость от положения точки по ширине КДМ). Таким образом, для снижения вариации механических характеристик, недостаточно управлять только массой 1 м^2 , влажностью и толщиной, а также контролировать угол TSO, необходимо управлять качеством формования и намечать мероприятия по снижению флокулирования бумажной массы и струйности при работе напорного ящика.

3. Корреляционный анализ подтвердил существование зависимости между стандартными физико-механическими характеристиками и характеристиками, определяемыми неразрушающими методами.

4. Полученные результаты позволяют сделать предположение о возможности прогнозирования величины сопротивления продавливанию, жесткости при изгибе и SCT крафт-лайнера на основании не только измерения толщины и профиля TSI, но и с учетом неоднородности структуры картона, оцениваемой на анализаторе формования. При этом все исходные данные могут быть получены неразрушающими методами, в перспективе и с применением on-line технологий измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 252 с.
2. Беляев О.С., Казаков Я.В., Михайлова О.С. Взаимосвязь макроструктуры и физико-механических свойств картона // Вестн. Казан. технолог. ун-та. 2014. Т.17, № 23. С. 47–50.
3. Вайсман Л.М. Структура бумаги и методы ее контроля. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 152 с.
4. ГОСТ Р 53207–2008. Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 15 с.
5. Гурьев А.В., Комаров В.И., Белоглазов В.И. Опыт использования TSO-тестера для коррекции технологического режима КДМ // Технология переработки макулатуры: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Каравеево–Правдинский, 2005. С. 136–138.
6. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние оптической неоднородности структуры на деформационные и прочностные характеристики писче-печатной бумаги // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию СибГТУ. Красноярск: СибГТУ, 2005. Т. I. С. 172–176.
7. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн. 2007. №3. С.110–121. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Комаров В.И., Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Сыроева Н.В. Исследование факторов, влияющих на анизотропию жесткости при растяжении картона-лайнера // Технология переработки макулатуры: материалы 6-й Междунар. науч.-техн. конф. Каравеево–Правдинский, 2005. С. 133–136.
9. Комаров В.И., Гурьев А.В., Елькин В.П. Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 171 с.
10. Линдبلاد Г., Юха Ю.С. Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO-тестере // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Междун. науч.-техн. конф. Архангельск: САФУ имени М.В. Ломоносова, 2011. С. 78–87.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012612685 (РФ). Программа для количественной оценки неоднородности структуры бумаги на просвет (Анализатор формования)/ Я.В. Казаков, В.В. Абрамова: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО САФУ (RU). № 2012610587; заявл. 02.02.2012; опубл. 15.03.2012. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
12. Смолин А.С., Аксельрод Г.З. Технология формования бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 121 с.
13. Bernie J-P. Measuring formation of paper – PaperPerfect method. Lorentzen&Wettre. KistaSnabbtryck, Sweden, 2004. 25 p.
14. Lab formation Sensor 2D FSensor. Режим доступа: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (дата обращения: 18.05.2015)
15. Lindblad G., Furst T. The ultrasonic measuring technology on paper and board. Lorentzen&Wettre, Elanders Tofters AB, 2001. 100 p.

Поступила 05.11.15

UDC 676.274

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.157

Using Non-Destructive Methods of Kraft Liner Quality Control

O.S. Belyaev¹, Postgraduate Student, Management Engineer

Ya.V. Kazakov², Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Arkhangelsk Pulp and Paper Mill, Melnikov str., 1, Novodvinsk, 164900, Arkhangelsk region, Russian Federation; e-mail: boset@atnet.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

The paper presents the results of the comparative evaluation of the magnitude and variation of the physical and mechanical characteristics of the cardboard-liner, using destructive and non-destructive measurement methods. The samples of kraft-liner – the slices from a spool – of the weight of 115, 140 and 170 g/m² and the length of 6300 mm selected at a cardboard machine were measured. The mechanical properties profiles were obtained: thickness, burst strength, SCT, bending stiffness, and the characteristics measured by the non-destructive ultrasound method with the Lorentzen&Wetret TSO-tester and by the optical method with the use of the PTA-Line Formation Tester. The variation of mechanical characteristics is considerably (4–8 fold) higher at a low degree of the thickness variability (coefficient of variation 1.6...3.7 %) and the cardboard tensile stiffness index in the machine direction (2.1...2.9 %) across the width of a cardboard machine. The reason is in the high structural imperfection. The variation of all characteristics increases when a weight of 1 m² of cardboard decreases. According to the profiling of the characteristics across the width of the CM we have established, that the variation of burst strength, compression strength and bending stiffness consists of the variation of the formation index (by the nearby points), and the variation of the thickness and tensile stiffness (dependence on the position of the point across the width of the CM). In order to reduce the variation of the mechanical properties it is not enough to control only the basic weight of 1 m², humidity and thickness, as well as to control the TSO-angle, but it is necessary to operate by the formation quality and plan the measures to reduce the paper pulp flocculating and jets at the headbox. According to the results of the correlation analysis we confirm the existence of the relationship between the standard physical and mechanical properties and the characteristics determined by the non-destructive methods. The obtained results suggest the possibility of the predictability of the burst strength resistance values, bending stiffness and SCT of kraft liner on the basis of not only measuring the thickness and TSI profile, but also the structural imperfection of cardboard, estimated by the formation analyzer. All the original data can be obtained by the non-destructive methods and in the future with the use of the on-line measurement technologies. The results will improve the accuracy of the assessment of the cardboard quality.

Keywords: cardboard, properties variation, stiffness, formation, anisotropy.

REFERENCES

1. Beloglazov V.I., Gur'ev A.V., Komarov V.I. *Anizotropiya deformativnosti i prochnosti tarnogo kartona i metody ee otsenki* [Anisotropy of Deformability and Strength of Container Board and Methods of Its Evaluation]. Arkhangelsk, 2005. 252 p.
2. Belyaev O.S., Kazakov Ya.V., Mikhaylova O.S. *Vzaimosvyaz' makrostruktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv kartona* [Interrelation of the Macrostructure and Physical and Mechanical Properties of Cardboard]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014, vol. 17, no. 23, pp. 47–50.

3. Vaysman L.M. *Struktura bumagi i metody ee kontrolya* [Paper Structure and Methods of Its Control]. Moscow, 1973. 152 p.
4. GOST R 53207–2008. *Karton dlya ploskikh sloev gofrirovannogo kartona. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard R 53207–2008. Cardboard for Flat Layers of Corrugated Cardboard. General Specifications]. Moscow, 2009. 15 p.
5. Gur'ev A.V., Komarov V.I., Beloglazov V.I. Opyt ispol'zovaniya TSO-testera dlya korrektsii tekhnologicheskogo rezhima KDM [Experience in Using TSO-Tester to Correct the Technological Mode of Cardboard Machine]. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: materialy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 6th Intern. Conf. “Technology of the Wastepaper Processing”]. Karavaevo-Pravdinsky, 2005, pp. 136–138.
6. Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Vliyanie opticheskoy neodnorodnosti struktury na deformatsionnye i prochnostnye kharakteristiki pishe-pechatnoy bumagi [Effect of Optical Structural Imperfection on the Deformation and Strength Characteristics of the Writing and Printing Paper]. *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы – problemy i resheniya: sb. st. po materialam Vseros. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 75-letiyu SibGTU* [Proc. All-Russ. Sci. Eng. Conf., Dedicated to the 75th Anniversary of the Siberian State Technological University “Forest and Chemical Complexes – Challenges and Solutions”]. Krasnoyarsk, 2005, vol. I, pp. 172–176.
7. Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Vliyanie neodnorodnosti struktury na kharakteristiki zhestkosti kartonov-laynerov [Influence of Structural Imperfection on the Stiffness Characteristics of Linerboards]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 3, pp. 110–121.
8. Komarov V.I., Beloglazov V.I., Gur'ev A.V., Sysoeva N.V. Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na anizotropiyu zhestkosti pri rastyazhenii kartona-laynera [A Study of Factors Affecting the Tensile Stiffness Anisotropy of Linerboard]. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: materialy 6-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 6th Intern. Sci. Eng. Conf. “Technology of the Wastepaper Processing”]. Karavaevo-Pravdinsky, 2005, pp. 133–136.
9. Komarov V.I., Gur'ev A.V., El'kin V.P. *Mekhanika deformirovaniya tsellyuloznykh taroupakovochnykh materialov* [Mechanics of Deformation of the Cellulose Packaging Materials]. Arkhangelsk, 2002. 171 p.
10. Lindblad G., Yukha Yu.S. Nastroyka BDM dlya optimizatsii prochnostnykh svoystv kartona dlya ploskikh sloev gofrirovannogo kartona i bumagi dlya gofrovaniya s pomoshch'yu analiza na TSO-testere [PM Setting to Optimize the Cardboard Strength Properties for Flat Layers of Corrugated Cardboard and Paper for Corrugating with the Analysis at the TSO Tester]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I Mezhdun. nauch.-tekhn. konf.* [Proc. 1st Sci. Eng. Intern. Conf. “The Issues in Mechanics of the Pulp-and-Paper Materials”]. Arkhangelsk, 2011, pp. 78–87.
11. Kazakov Ya.V., Abramova V.V. *Programma dlya kolichestvennoy otsenki neodnorodnosti struktury bumagi na prosvet (Analizator formovaniya)* [The Program of Quantitative Evaluation of Paper Structural Imperfection UP to the Light (Formation Tester)]. Certificate of Computer Software Registration, no. 2012612685, 2012.
12. Smolin A.S., Aksel'rod G.Z. *Tekhnologiya formovaniya bumagi i kartona* [Technology of Paper and Cardboard Forming]. Moscow, 1984. 121 p.
13. Bernie J.P. *Measuring Formation of Paper – PaperPerfect Method – Lorentzen&Wettre*. Sweden. 2004. 25 p.
14. Lab *Formation Sensor 2D FSensor*. Available at: <http://www.techpap.com/lab-formation-sensor,lab-device,6.html> (accessed 18.05.2015).
15. Lindblad G., Fürst T. *The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board*. Lorentzen&Wettre, Elanders Tofters AB. Sweden, 2001. 100 p.

Received on November 05, 2015

УДК 628.356

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.171

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

С.Н. Долгобородова¹, ст. преп.

Н.И. Богданович², д-р техн. наук, проф.

Т.С. Мауричева¹, канд. геол.-минерал. наук

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
ул. Капитана Воронина, д. 6, г. Северодвинск, Россия, 164520;

e-mail: s.dolgorodova@narfu.ru; t.mauricheva@narfu.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru

Показана опасность сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий для водных экосистем и возможность их биологической очистки в аэротенках. Изучены и обобщены существующие в России и за рубежом системы аэрации биологической очистки стоков целлюлозно-бумажной промышленности. Показаны современные тенденции развития аэрационных систем, критерии их выбора. Кроме того, обоснована актуальность вопроса интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий путем применения готовых газожидкостных смесей повышенной устойчивости, имеющих пузырьковую структуру. Разработана методика их получения на универсальной лабораторной установке. В исследуемой газожидкостной смеси сплошной фазой является вода, дисперсной – воздух. Рассматриваемые газожидкостные смеси получены путем непосредственной подачи атмосферного воздуха в воду через входной патрубок центробежного насоса. Проведено экспериментальное исследование гидродинамики двухфазного газожидкостного потока в зависимости от размера воздушных пузырьков. Приведенные результаты исследования показывают, что, устанавливая различные расходы жидкости и воздуха, можно получить газожидкостные смеси с пузырьками воздуха повышенной устойчивости размером от 1 до 8 мм и турбулентным режимом течения обеих фаз. Установлены экспоненциальные зависимости размеров воздушных пузырьков от расходов жидкости и воздуха, а также данные по гидродинамическому режиму газожидкостной смеси «воздух–вода». Многочисленные исследования и применение стандартизированных методов измерений, их анализ и обработка подтверждают достоверность полученных результатов. Данная установка по исследованию газожидкостного потока призвана устранить недостатки аналогов. Так, предлагаемая методика получения газожидкостных смесей повышенной устойчивости позволяет отказаться от дорогостоящего воздуходувного оборудования. Универсальность установки заключается в том, что она может быть применена для различных целей во многих отраслях промышленности, включая целлюлозно-бумажную. Планируется дальнейшее исследование газожидкостных смесей в лабораторных, а затем и в реальных условиях. Практическое применение газожидкостных смесей, имеющих пузырьковую структуру повышенной устойчивости, позволит повысить эффективность очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий за счет интенсификации биохимических процессов.

Ключевые слова: газожидкостные смеси, сточные воды, биологическая очистка, интенсификация, целлюлозно-бумажные предприятия.

Введение

В технологических процессах целлюлозно-бумажного производства образуются сточные воды, характеризующиеся сложным физико-химическим составом, высокой цветностью и неприятным специфическим запахом. Следовательно, спуск неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий неизбежно приводит к сильному загрязнению водных экосистем.

На всех отечественных и большинстве зарубежных целлюлозно-бумажных предприятиях для очистки сточных вод перед сбросом в водоем применяются биологические методы на сооружениях с аэротенками. Известно, что токсичность сточных вод сульфатцеллюлозных предприятий значительно снижается в присутствии хозяйственно-бытовых вод [6]. Сущность биологической очистки заключается в снижении, в первую очередь, биохимического потребления кислорода (БПК). Эффективность биологической очистки определяется в основном конструкцией аэротенка и его аэрационной системы. В работе [1] перечислены критерии оценки устойчивости функционирования сооружений биологической очистки. Система аэрации обеспечивает снабжение кислородом и перемешивание иловой смеси, тем самым поддерживая активный ил во взвешенном состоянии. От эффективности подачи в аэротенк и распределения в нем воздуха, перемешивания иловой смеси и других факторов зависят показатели качества очистки стоков (степень очистки по БПК, ХПК (химическое потребление кислорода) и т. д.) и энергетические показатели (расход энергии или воздуха на очистку 1 м³ сточной воды и др.) [2].

Эффективность очистки стоков в аэротенках можно повысить за счет интенсификации биохимических процессов, а именно: устранения существующих недостатков их работы, обеспечения минимальных энергозатрат на очистку и максимально возможной утилизации образующихся при очистке твердых отходов. Целью проводимого исследования является рассмотрение вопроса об актуальности применения готовых газожидкостных смесей повышенной устойчивости для интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий.

Методы исследования

Изучение и обобщение результатов научных исследований и анализ опыта эксплуатации сооружений биологической очистки привели к созданию усовершенствованных схем очистки стоков в аэротенках [2, 5]. Ведущими отечественными (например, ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО», ОАО «НИИ КВОВ») и зарубежными научными организациями осуществляются инженерные разработки в области интенсификации работы сооружений биологической очистки сточных вод, в том числе по созданию эффективных систем аэрации [2]. Так, в проект РАН «Перспективный план фундаментальных исследований по приоритетным направлениям развития науки до 2025 г.» включены исследования характеристик и свойств газожидкостных смесей, построение моделей двухфазных течений.

По способу ввода кислорода и энергии для перемешивания жидкости выделяют следующие системы аэрации применительно к аэротенкам: пневматическую, механическую, пневмомеханическую (смешанную), гидравлическую, или струйную [2, 4, 8]. В последние годы повышенный научный и практический интерес вызывает гидравлическая система аэрации, принцип действия которой заключается в использовании энергии движущейся жидкости для создания развитой поверхности газожидкостного контакта [8]. Анализ многочисленных исследований показывает, что гидравлическая аэрация имеет ряд преимуществ при минимуме недостатков: высокая степень насыщения кислородом (2,1... 3,8 кВт·ч/кг O₂); равномерное перемешивание иловой смеси; возможность образования пузырьков различных размеров; высокая степень очистки (более 95 %); низкие энергозатраты и др.

Вопрос актуальности и возможности применения газожидкостных смесей для интенсификации очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий требует экспериментального подтверждения. Для изучения газожидкостных потоков в лаборатории Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ) была собрана универсальная установка (рис. 1) и оценена ее работа [3]. Цель лабораторного исследования – разработка методики получения газожидкостных смесей повышенной устойчивости, имеющих пузырьковую структуру.

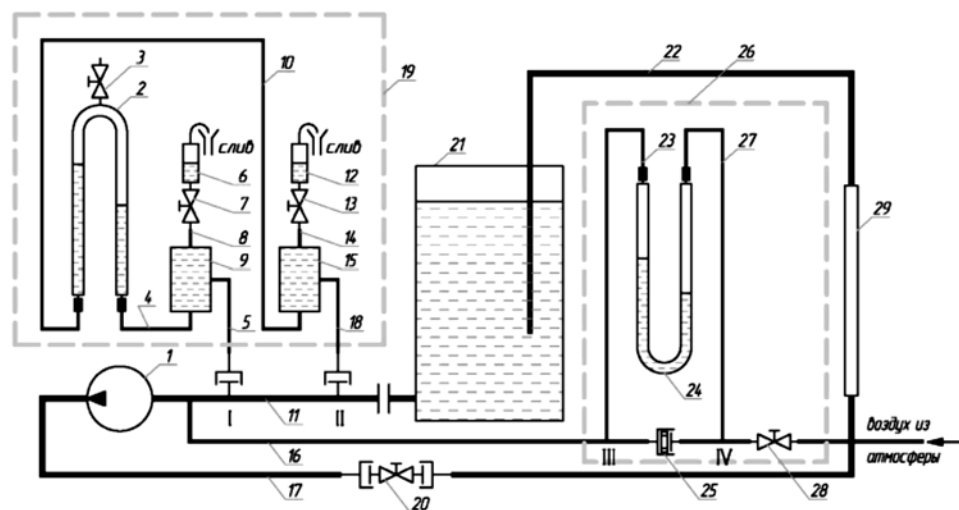


Рис. 1. Схема лабораторной установки для получения газожидкостной смеси: 1 – центробежный насос; 2, 24 – пьезометры; 3, 7, 13 – продувочные вентили; 4, 5, 8, 10, 14, 18 – шланги Д6; 6, 12 – смотровые колонки; 9, 15 – газосборники; 11, 17, 22 – трубопроводы Ду30; 16 – трубопроводы Ду15; 19 – расходомер жидкости; 20 – клапан Ду30; 21 – бак (емкость 100 л); 23, 27 – труборазъемы Ду6; 25 – шайба дроссельная (Ду3, Ду6, Ду10); 26 – расходомер воздуха; 28 – клапан Ду10; 29 – прозрачный рабочий участок

Основными элементами лабораторной установки являются: центробежный насос 1, бак 21, участок визуализации 29 из стекла, расходомеры воздуха 26 и жидкости 19. В качестве газожидкостной смеси исследовали водовоздушную смесь. Лабораторный стенд работает по замкнутому циклу. Для разделения получаемой газожидкостной смеси в баке 21 был экспериментально подобран и установлен разделитель с двойным слоем сетки (на рис. 1 не показан), размер отверстия которого равен 1,5×1,5 мм. Полученные результаты измерений обработаны методом наименьших квадратов, построены градуировочные характеристики расходомеров воды и воздуха:

$$\Delta P_{\text{ж}} = f(G_{\text{ж}}); \Delta P_{\text{в}} = f(G_{\text{в}}).$$

Здесь $P_{\text{ж}}$ и $P_{\text{в}}$ – соответственно давление жидкости (вода) и воздуха;
 $G_{\text{ж}}$ и $G_{\text{в}}$ – соответственно расход воды и воздуха.

Особенностью стенда является то, что подача газа в жидкость осуществляется на всасывающую линию насоса непосредственно из атмосферы, что позволяет устранить недостатки существующих установок, у которых подача воздуха в жидкость осуществляется в напорный патрубок с помощью дополнительных устройств, что в свою очередь усложняет схему и обслуживание установок, увеличивает энергозатраты.

Результаты и их обсуждение

Способы создания газожидкостного потока описаны, как в отечественной, так и зарубежной литературе [7–11]. Известно, что гидродинамические характеристики пузырькового газожидкостного потока определяются в основном дисперсностью газовой фазы [7, 8]. Результаты многократных наблюдений показали, что при установке различных расходов жидкости $G_{\text{ж}}$ и воздуха $G_{\text{в}}$ можно получить газожидкостные смеси с различными размерами (1...8 мм), концентрацией и свойствами пузырьков воздуха. Построены графики экспоненциальной зависимости средних диаметров воздушных пузырьков от расхода жидкости и воздуха (рис. 2):

$$d_{\text{п}} = f(G_{\text{ж}}); d_{\text{п}} = f(G_{\text{в}}).$$

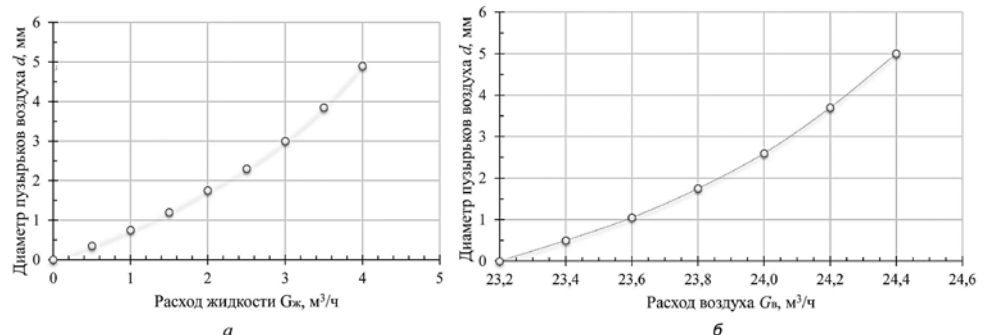


Рис. 2. Зависимость диаметра пузырьков от расхода жидкости (а) и воздуха (б)

Были подобраны различные гидродинамические режимы для обеих фаз. Выявлено, что преобладает турбулентный режим течения газожидкостного потока для обеих фаз [3].

Полученные результаты, исходя из анализа и опыта работы аэротенков, позволят в промышленных условиях повысить степень перемешивания и насыщения кислородом воздуха сточной жидкости. Достичь оптимальных условий для аэрирования сточной жидкости можно также путем регулирования подачи воздуха в воду, комбинируя мелко- и крупнопузырчатую аэрацию, что подтверждено исследованиями [3].

Выводы

1. Применение готовых газожидкостных смесей пузырьковой структуры повышенной устойчивости интенсифицирует биологическую очистку сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий.

2. Разработана методика получения газожидкостной смеси путем подачи воздуха в жидкость непосредственно из атмосферы через входной патрубок центробежного насоса.

3. Экспериментально получены характеристики газожидкостной смеси повышенной устойчивости, которые позволят регулировать размеры воздушных пузырей и гидродинамику двухфазного течения в зависимости от характера и степени загрязнения сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов В.И., Денисов А.А. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод// Экология и пром-сть России. 2009. № 2. С. 26–31.
2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов /Под ред. Ю.В. Воронова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.
3. Долгобородова С.Н. Лабораторное исследование метода получения газожидкостных смесей повышенной устойчивости для интенсификации биологической очистки сточных вод// Фундамент. исслед. 2014. № 12. Ч. 7. 1389–1393 с.
4. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
5. Колесников В.П., Вильсон Е.В. Современное развитие технологических процессов очистки сточных вод в комбинированных сооружениях/ Под ред. В.К. Гордеева-Гаврикова. Ростов-н/Д.: Юг, 2005. 212 с.
6. Косарева Е.Н. Снижение токсичности и остаточной загрязненности сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий при различных вариантах биологической очистки: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2007. 145 с.
7. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 296 с.
8. Попкович Г.С., Репин Б.Н. Системы аэрации сточных вод. М.: Стройиздат, 1986. 136 с.

9. Fujilawa S., Zhang R., Hayama S., Peng G. The control of micro-air-bubble generation by a rotational porous plate // International Journal of Multiphase Flow. 2003. Vol. 29. P. 1221–1236.

10. Tan R.B.H., Chen W.B., Tan K.H. A nonspherical model for bubble formation with liquid cross-flow// Chemical Engineering Science. 2000. Vol. 55. P. 6259–6267.

11. Sullivan S.L., Hardy B.W., Holland C.D. Formation of air bubbles at orifices submerged beneath liquids// American Institute of Chemical Engineers Journal. 1964. Vol. 10, N 6. P. 848–854.

Поступила 19.02.15

UDC 628.356

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.171

The Relevance of Application of Gas Liquid Mixtures for the Wastewater Treatment Intensification of the Pulp and Paper Mills

S.N. Dolgoborodova¹, Senior Lecturer

N.I. Bogdanovich², Doctor of Engineering Sciences, Professor

T.S. Mauricheva¹, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Captain Voronin str., 6, Severodvinsk, 164520, Arkhangelsk Region, Russian Federation;

e-mail: s.dolgoborodova@narfu.ru; t.mauricheva@narfu.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru

The paper demonstrates the risk of sewage of the pulp and paper mills for the aquatic ecosystems and the possibility of their biological treatment in the aeration tanks. The existing aeration systems of the biological wastewater treatment of the pulp and paper industry of Russia and foreign countries are studied and summarized. We present the current trends of the aeration systems and the criteria for their selection. In addition, the urgency of intensification of biological wastewater treatment of the pulp and paper mills by using the high stability gas-liquid mixtures with a bubble structure is proved. A mixture technique is developed in a universal laboratory setting. The water is a continuous phase and the air is a dispersed one in the observable gas-liquid mixture. The gas-liquid mixtures under consideration are derived by the air direct feeding into the water through the inlet of a centrifugal pump. The experimental study of the hydrodynamics of two-phase gas-liquid flow depending on the size of the air bubbles is carried out. The research efforts show that the liquid-gas mixtures with the high stability air bubbles of the size from 1...8 mm and a turbulent flow regime of the two phases can be obtained by setting different fluid and air flow rates. The exponential dependences of the size of air bubbles on the fluid and air flow rates and the data of the hydrodynamic regime of the gas-liquid mixture “air – water” are established. Numerous researches and the use of the standardized methods of measurement, their analysis and processing confirm the accuracy of the results. This setting for the study of a gas-liquid flow is designed to remove defects of the analogues. Thus, the proposed technique of obtaining the high stability gas-liquid mixtures eliminates the costly air-blowing equipment. The set is multi-function as it can be applied for various purposes in many industries, including the pulp and paper one. We intend to study the gas-liquid mixtures in the laboratory

environment and in actual practice. The practical application of the gas-liquid mixtures with a high stability bubble structure will increase the efficiency of the wastewater treatment of the pulp and paper mills due to the intensification of the biochemical processes.

Keywords: gas liquid mixtures, wastewater, biological treatment, intensification, pulp and paper mill.

REFERENCES

1. Bazhenov V.I., Denisov A.A. Proektirovanie sovremennykh kompleksov biologicheskoy ochistki stochnykh vod [Designing of the Modern Systems of Biological Sewage Treatment]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2009, no. 2, pp. 26–31.
2. Voronov Yu.V., Yakovlev S.V. *Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod* [Sewage and Waste Water Treatment]. Moscow, 2006. 704 p.
3. Dolgoborodova S.N. Laboratornoe issledovanie metoda polucheniya gazozhidkostnykh smesey povyshennoy ustoychivosti dlya intensivatsii biologicheskoy ochistki stochnykh vod [Laboratory Study of Producing Technique of High Stability Gas-Liquid Mixtures to Intensify the Biological Wastewater Treatment]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 12, pp. 1389–1393.
4. Zhmur N.S. *Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami* [Technological and Biochemical Processes of Sewage Treatment in the Plants with the Aeration Tanks]. Moscow, 2003. 512 p.
5. Kolesnikov V.P., Vil'son E.V. *Sovremennoe razvitiye tekhnologicheskikh protsessov ochistki stochnykh vod v kombinirovannykh sooruzheniyakh* [Modern Development of Technological Processes of Wastewater Treatment in the Combined Plants]. Ed. by V.K. Gordeev-Gavrikov. Rostov-on-Don, 2005. 212 p.
6. Kosareva E.N. *Snizhenie toksichnosti i ostatochnoy zagryaznennosti stochnykh vod tsellyulozno-bumazhnykh predpriyatiy pri razlichnykh variantakh biologicheskoy ochistki*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Reductions in the Toxicity and Residual Load of the Pulp and Paper Mills in Various Options of Biological Treatment: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangel'sk, 2007. 145 p.
7. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh sistem* [The Hydrodynamics of the Gas-Liquid Systems]. Moscow, 1976. 296 p.
8. Popkovich G.S., Repin B.N. *Sistemy aeratsii stochnykh vod* [Wastewater Aeration Systems]. Moscow, 1986. 136 p.
9. Fujilawa S., Zhang R., Hayama S., Peng G. The control of Micro-Air-Bubble Generation by a Rotational Porous Plate. *International Journal of Multiphase Flow*, 2003, vol. 29, pp. 1221–1236.
10. Tan R.B.H., Chen W.B., Tan K.H. A Nonspherical Model for Bubble Formation with Liquid Cross-Flow. *Chemical Engineering Science*, 2000, vol. 55, pp. 6259–6267.
11. Sullivan S.L., Hardy B.W., Holland C.D. Formation of Air Bubbles at Orifices Submerged Beneath Liquids. *AIChE Journal*, 1964, vol. 10, no. 6, pp. 848–854.

Received on February 19, 2015



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.178

**В СТРОЮ НАСТОЯЩИХ ЛЕСОВОДОВ
(к 70-ЛЕТИЮ М.Д. МЕРЗЛЕНКО)**



В апреле свой юбилейный день рождения отметил Михаил Дмитриевич Мерзленко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения Российской академии наук (РАН).

Родился М.Д. Мерзленко в семье военнослужащих 11 апреля 1946 г. в г. Владивостоке. После окончания средней школы в 1964 г. поступил в Московский лесотехнический институт (МЛТИ). В выборе будущей профессии ученого большую роль сыграла работа в кружке юных биологов при Московском зоопарке и Московском обществе испытателей природы (МОИП) при Московском государственном университете (МГУ) имени М.В. Ломоносова в 1960–63 гг. Именно к этому

времени относятся его первые научные исследования на базе Московского зоопарка и в лесах Московской и Владимирской областей, а также в экспедиции в знаменитую Беловежскую пущу (1962 г.). После окончания средней школы в 1964 г. поступил в Московский лесотехнический институт (МЛТИ).

Свою трудовую деятельность начал еще студентом в 1967 г. в качестве рабочего 7-й Московской аэрофотолесостроительной экспедиции, а затем, в том же году, – лаборанта научно-исследовательского сектора МЛТИ. В 1968 г. работал техником в 5-й Московской аэрофотолесостроительной экспедиции.

По окончании МЛТИ в 1969 г., он начинает работу во Всесоюзном государственном проектно-изыскательском институте «Союзгипролесхоз», где прошел трудовой путь от инженера-производственника до начальника научной экспедиции. Им осуществлены внедрения по научным исследованиям в виде двух ОСТов и практических рекомендаций, утвержденных Министер-

ством лесного хозяйства РСФСР. С 1972 г. Михаил Дмитриевич действительный член МОИП. О научной весомости этого общества достаточно сказать, что в XX в. его президентами были такие выдающиеся ученые, как академики Н.Д. Зелинский и В.Н. Сукачев.

Без отрыва от производства М.Д. Мерзленко сдал кандидатский минимум как соискатель при МЛТИ, а 13 декабря 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию, в которой обосновал целесообразность выращивания сосны на исконно богатых суглинистых или «еловых» почвах. Им доказано, что введение сосны в эти условия отвечает ее аутоэкологическим особенностям и способствует созданию высокопродуктивных насаждений в пределах Русской равнины.

В 1983 г. М.Д. Мерзленко был избран по конкурсу и занял должность доцента кафедры лесных культур в Alma-mater. Продуктивное сочетание педагогической, научной работы и активные полевые исследования привели к тому, что уже 18 декабря 1991 г. он защищает докторскую диссертацию «Лесные культуры хвойных пород зоны смешанных лесов: (обобщение полуторавекового лесокультурного опыта)». В ней автором сделаны не только ценные научные выводы, теоретические выкладки, но и даны реальные практические рекомендации, нашедшие серьезное производственное внедрение. С 1992 г. по 2012 г. он в должности профессора кафедры лесных культур МЛТИ (впоследствии МГУЛ).

Большое значение на формирование научных взглядов М.Д. Мерзленко оказало общение с академиком ВАСХНИЛ И.С. Мелеховым, член-корреспондентом РАН М.В. Рубцовым, научным сотрудником ВНИИЛМ доктором сельскохозяйственных наук В.В. Мироновым и профессором Г.И. Редько.

О широте научных интересов М.Д. Мерзленко свидетельствует большое количество опубликованных работ по различным вопросам лесоводства, лесных культур, лесной орнитологии и истории лесного дела России. Его работы издавались в Словакии, Белоруссии, Украине. Общее количество публикаций превышает 380, в их числе 18 монографий, 17 брошюр и 33 работы научно-методической направленности. В настоящее время он состоит членом двух диссертационных советов – в Северном (Арктическом) федеральном университете и Институте лесоведения РАН. Он является членом редколлегии научных изданий: «Лесной журнал» и «Лесоведение». Был членом секции лесоводства и лесоведения отделения лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ, а также членом бюро комиссии по истории лесоводства МОИП.

На научном поприще М.Д. Мерзленко наиболее напряженно и продуктивно работал в конце 80-х гг. XX в. Это была работа по госбюджетной тематике МЛТИ и по международному научному сотрудничеству со Зволениским лесотехническим институтом (Чехословакия): создание опытных лесных культур в Солнечногорском опытном лесхозе Московской области; мониторинг объектов старых искусственных насаждений; работа над докторской диссертацией; деятельность в качестве замдекана по научной работе факуль-

тета лесного хозяйства и пр. В августе-сентябре 1980 г. и 1981 г. работал в Чехословакии на выставке «Земля-кормилица», где представлял лесное хозяйство нашей страны. Кроме того, для протокольных делегаций вел обзорные экскурсии по всему павильону СССР.

Под руководством М.Д. Мерзленко заложены опытные культуры ели разной густоты (от 2 до 20 тыс. экз./га), географические посадки и посевы ели, насчитывающие несколько сотен провениенций из евроазиатского ареала рода *Picea*, а также географические посевы дуба черешчатого.

Как ученый-лесокультурник М.Д. Мерзленко известен своими многочисленными учебными пособиями для студентов по курсу «Лесные культуры и защитное лесоразведение» (1999, 2005). В 2008 г. издательство «Академия» выпустила его учебник для бакалавров объемом 400 страниц в соавторстве с Г.И. Редько, Н.А. Бабичем, Д.И. Даниловым. Его учебное пособие «Теория и практика искусственного лесовосстановления» (соавтор Н.А. Бабич), изданное в 2011 г. в Архангельске, по существу является первым учебником для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки «Лесное дело».

Михаил Дмитриевич большой знаток истории лесного дела России. В этом он достойный последователь и продолжатель работ, начатых признанными историками в области лесной науки И.С. Мелеховым и Г.И. Редько. Широкому кругу читателей он известен как автор монографий о лесах Москвы и Подмосковья: «В лесах Москвы: путеводитель-эссе по городским лесам Москвы» (1999); «Путешествия в рукотворные леса Москвы и Подмосковья» (1999); «В лесных дачах Центральной России» (2001, 2002). Его учебное пособие для подготовки магистров «Краткий курс истории лесного дела в России» выдержало два издания (2010; 2012) и пользуется большим спросом у студентов. Не менее ценны его монографии, написанные в соавторстве: «Выдающиеся лесоводы-лесокультурники России» (2005); «Хранитель истории лесов России» (2010); «Выдающиеся деятели лесоводственной мысли» (2011); «Охота и лес» (2014) и др.

В заслуги М.Д. Мерзленко следует отнести и переиздания ретролитературы классиков отечественного лесоводства – Е.Ф. Зябловского, Г.Ф. Морозова, Ф.К. Арнольда, М.К. Турского, К.Ф. Тюрмера, А.А. Крюденера и др., для которых им написаны предисловия.

Много сил и внимания Михаил Дмитриевич уделяет работе с молодежью. Как талантливый педагог, он неоднократно выступал с лекциями перед будущими лесоводами, а также на заседаниях научных студенческих кружков в Северном (Арктическом) федеральном университете, Вологодской молочнохозяйственной академии, демонстрируя энциклопедические знания, высокую эрудицию, широту научного кругозора и глубину проработки научно-практического материала. Кстати Михаил Дмитриевич является инициатором и активным участником встреч ведущих ученых-лесоводов из разных вузов России.

По мнению юбиляра, настоящий ученый-лесовод должен как можно больше читать специальной литературы, чаще работать в лесу на полевых исследованиях и активно посещать библиотеку.

Всегда приветливый, внимательный и доброжелательный Михаил Дмитриевич пользуется заслуженным авторитетом и глубоким уважением у всех, с кем ему приходится работать и общаться.

От всей души поздравляем Михаила Дмитриевича Мерзленко со знаменательным юбилеем, желаем ему здоровья, долголетия, новых творческих успехов в науке, активной и плодотворной жизни!

В.И. Мелехов¹, Н.А. Бабич¹, И.В. Евдокимов²

¹Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.178

In the Ranks of the Real Arborists (To the 70th Anniversary of M.D. Merzlenko)

V.I. Melekhov¹

N.A. Babich¹

I.V. Evdokimov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin