

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

2/350

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

2/350

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>И.И. Тихонов, Т.В. Якушева.</i> Выборочные рубки, проблемы и варианты решений.....	9
<i>А.А. Калачев, С.В. Залесов.</i> Особенности послепожарного восстановления древостоев пихты сибирской в условиях рудного Алтая.....	19
<i>Н.Р. Сунгурова, В.Н. Коновалов.</i> Ассимиляционный аппарат ели в культурах на долгомошной вырубке.....	31
<i>С.А. Корчагов, И.Н. Лупанова.</i> К вопросу охраны лесов от незаконных рубок в Вологодской области.....	41
<i>А.А. Дерюгин, М.В. Рубцов.</i> Динамика состояния популяции ели под пологом березняков южной тайги Русской равнины.....	47
<i>О.Н. Ежов.</i> Афиллофоровые грибы в городских зеленых насаждениях Архангельской области.....	59

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

<i>С.Н. Орловский, С.А. Астапенко, С.В. Комиссаров.</i> Методика расчета оборудования для отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев.....	69
<i>Н.Н. Теринов, Э.Ф. Герц, Ю.Н. Безгина.</i> Развитие техники и технологий лесозаготовок на Урале.....	81

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>С.П. Агеев.</i> Нормирование электроэнергии, потребляемой обрезными станками	91
<i>Е.С. Шарипов, В.Ю. Чернов, А.С. Торпов, Е.В. Смирнова.</i> Влияние влажности на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению.....	103
<i>П.В. Билей, Р.А. Рокунь.</i> Исследование кинетики процесса сушки профильных заготовок из древесины.....	114

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

<i>Е.О. Окулова, А.В. Гурьев.</i> Определение породного состава целлюлозы и полуцеллюлозы из лиственной древесины.....	121
<i>М.А. Архилин, Н.И. Богданович.</i> Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина.....	131

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- В.Д. Давыдов.* Повышение точности определения расходов на гидросооружениях, работающих по схеме водослива с широким порогом..... 141

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

- В.И. Мелехов, Н.А. Бабич.* Интересная и полезная книга..... 151  
*С.В. Залесов.* Окно в природу! Прекрасная книга о тайге Беломорья..... 153

*ЮБИЛЕИ*

- М.Н. Неруш.* Ученому, педагогу Федору Васильевичу Кишенкову – 80 лет..... 155  
*М.Д. Мерзленко, И.В. Делеган, П.Г. Мельник.* Профессор Степан Михайлович Стойко – вехи жизнеописания (к 95-летию со дня рождения)..... 158

*НЕКРОЛОГИ*

- Ю.Г. Хабаров.* Памяти Геннадия Федоровича Потуткина..... 161
- 
-



CONTENTS

*FORESTRY*

<i>I.I. Tikhonov, T.V. Yakusheva.</i> Selective Logging, Challenges and Solutions.....	9
<i>A.A. Kalachev, S.V. Zalesov.</i> Post-Fire Recovery Peculiarities of Siberian Fir-Tree Stands Under Conditions of Rudny Altai.....	19
<i>N.R. Sungurova, V.N. Kononov.</i> Spruce Assimilation Apparatus in Plantations at the Polytric Cutting.....	31
<i>S.A. Korchagov, I.N. Lupanova.</i> Revisiting Protection of Forests from Illegal Felling in Vologda Region.....	41
<i>A.A. Deryugin, M.V. Rubtsov.</i> Dynamics of Spruce Population Under the Canopy of Birch Forests of the Southern Taiga of the Russian Plain.....	47
<i>O.N. Ezhov.</i> Aphyllophorales in the Urban Plantations of Arkhangelsk Region.....	59

*WOOD EXPLOITATION*

<i>S.N. Orlovskiy, S.A. Astapenko, S.V. Komissarov.</i> Calculation of Equipment for Shaking of Cones and Larvae off Conifer Trees.....	69
<i>N.N. Terinov, E.F. Gerts, Yu.N. Bezhina.</i> Development of Logging Technology in the Urals.....	81

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE*

<i>S.P. Ageev.</i> Rationing of Electricity Consumed by a Cutting Machine.....	91
<i>E.S. Sharapov, V.Yu. Chernov, A.S. Toropov, E.V. Smirnova.</i> The Impact of Moisture Content on the Accuracy of Wood Properties Evaluation by Drilling Resistance Measurement Method.....	103
<i>P.V. Biley, R.A. Rokun'.</i> Kinetics of Drying of Wood Profile Blanks.....	114

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

<i>E.O. Okulova, A.V. Gur'ev.</i> Determination of Species Composition of Hardwood Pulp and Semi-Chemical Pulp.....	121
<i>M.A. Arkhilin, N.I. Bogdanovich.</i> Adsorption and Magnetic Properties of Magneto Susceptible Adsorbents, Obtained on the Basis of Hydrolytic Lignin.....	131

*BRIEF REPORTS AND EXCHANGE OF BEST PRACTICES*

<i>V.D. Davydov.</i> Improving the Determination Accuracy of Costs in the Hydraulic Structures Operating Under the Scheme of a Broad-Crested Weir.....	141
--	-----

*CRITICISM AND BIBLIOGRAPHY*

- V.I. Melekhov, N.A. Babich.* Interesting and Useful Book..... 151  
*S.V. Zalesov.* Window to Nature! A Great Book about the Taiga of the White Sea  
Region..... 153

*JUBILEES*

- M.N. Nerush.* A Scientists and a Teacher Fedor Kishenkov – 80 years..... 155  
*M.D. Merzlenko, I.V. Delean, P.G. Mel'nik.* Professor Stepan Mikhaylovich Stoyko –  
Milestones of Biography (to the 95<sup>th</sup> Anniversary of the Birth)..... 158

*OBITUARIES*

- Yu.G. Khabarov.* In Memory of Gennady Fedorovich Potutkin..... 161
- 
-



УДК 630\*201.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.9

## ВЫБОРОЧНЫЕ РУБКИ, ПРОБЛЕМЫ И ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЙ

*И.И. Тихонов, канд. техн. наук, доц.*

*Т.В. Якушева, ассист., науч. сотр.*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;  
e-mail: ivan.tikhonov2013@yandex.ru, ytvles@mail.ru

Выборочные рубки проводятся в целях своевременной выборки перестойной и спелой части древостоев, создания благоприятных условий для ускоренного восстановления запасов древесины, сохранения разновозрастной структуры древостоев, их устойчивости, повышения продуктивности лесов и их защитных функций. В статье рассматриваются проблемы и значение выборочных рубок, целесообразность их применения в различных природно-производственных условиях, возможные технологии проведения различных видов выборочных рубок в эксплуатационных и защитных лесах (где сплошные рубки запрещены согласно действующим нормативным документам). Проведен анализ применения традиционных технологий лесосечных работ и заготовки древесины с применением традиционных технологий и современных многооперационных лесных машин. Изучены возможности полноповоротных валочно-пакетирующих машин с захватно-срезающей головкой, оснащенных накопительным устройством и уравнивающим противовесом для проведения выборочных рубок высокой эффективности, что позволит уменьшить повреждаемость оставляемых древостоев, снизить массу валочно-пакетирующих машин, получить высокую производительность даже при заготовке небольших по объему деревьев. Предложен новый способ лесозаготовок, при котором с лесосек вывозится древесина комлевыми и вершинными отрезками с кроной, а также древесная щепа, полученная на новой срезающе-рубительно-трелевочной машине. Учитывая, что при выборочных рубках разовый сьем древесины с единицы площади меньше, чем при сплошных рубках, плотность лесной инфраструктуры должна поддерживаться за счет строительства сети усов, веток, волоков постоянного действия, используемых также для выполнения лесохозяйственных мероприятий. Внедрение новой лесозаготовительной техники, в частности полноповоротных валочно-пакетирующих машин, позволит значительно увеличить рентабельность проведения выборочных рубок в различных природно-производственных условиях, комплексного использования лесосырья, уменьшения повреждаемости древостоев.

*Ключевые слова:* выборочные рубки, заготовка древесины, заготовка полудеревьями, использование лесов, механизация лесозаготовок, технология лесосечных работ, транспортная инфраструктура.

Выборочные рубки проводятся в целях своевременной выборки перестойной и спелой части древостоев, создания благоприятных условий для ускоренного восстановления запасов древесины за счет более молодой части древостоя и подроста, сохранения разновозрастной структуры древостоев, их устойчивости, повышения продуктивности и защитных функций лесов. При выборочных рубках лесосечный фонд используется рационально, так как убираются, в первую очередь, перестойные, фаутные и сухие деревья, а также часть спелых из числа деревьев, ослабивших рост или утративших качество деловой древесины. На корню остаются деревья, не достигшие возраста спелости и частично более крупные, но хорошо растущие, а также весь подрост хвойных пород. Проведение выборочных рубок исключает нежелательную смену пород и необходимость применять искусственное лесовосстановление.

Проведение выборочных рубок спелых и перестойных лесных насаждений осуществляется в эксплуатационных и защитных лесах, за исключением случаев, предусмотренных частью 2 статьи 103 и частью 2 статьи 107 Лесного кодекса РФ [3]. Согласно пункту 31 Правил заготовки древесины [8] рубки ухода за лесами и несплошные санитарные рубки осуществляются в форме выборочных рубок.

В зависимости от породного состава, возрастной структуры, состояния и строения насаждений, хозяйственно-биологической характеристики вырубаемых элементов леса и технологии проведения заготовки древесины выделяют следующие виды выборочных рубок спелых и перестойных лесных насаждений: добровольно выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные, группово-постепенные (котловинные), чересполосные постепенные, длительно-постепенные.

Лесоводственная цель выборочных рубок – оздоровление насаждений, улучшение их породного состава и возрастной структуры, повышение интенсивности роста перспективных деревьев и обеспечение сопутствующего возобновления, сохранение защитных и средообразующих функций леса.

Хозяйственной целью выборочных рубок является заготовка древесины в достигших возраста спелости древостоях интересующей породы и качества, обеспечивающих экономическую целесообразность процесса.

Технология лесосечных работ определяется лесоводственно-экологическими и организационно-техническими факторами. К первым относятся: способ рубки, характеристики древостоя, других компонентов биогеоценоза и природной среды. При этом важную роль играют следующие показатели: состав и густота древостоя, средний объем одного дерева, интенсивность рубки, несущая способность грунтов, количество и размещение подроста, возможность реализации заготавливаемой древесины.

К организационно-техническим факторам можно отнести площадь лесосеки, ее доступность (удаленность от существующих лесовозных дорог), имеющиеся технические средства для проведения лесосечных работ, требования по технике безопасности.

При проведении выборочных рубок учитываются: предельная площадь трелевочных волоков и погрузочных площадок; предельное количество стволов деревьев, поврежденных при лесозаготовке; доля сохраненного подроста ценных пород (от исходного количества и по площади лесосеки); степень возможного повреждения почвенного покрова. В указанные требования включаются также некоторые технологические параметры (ширина лесосек, расположение трелевочных волоков, места размещения погрузочных площадок и др.).

Анализ исследований процессов лесозаготовок выборочными рубками [4–6] позволяет сделать следующие выводы:

валка деревьев бензопилами целесообразна в древостоях с полнотой менее 0,8, при интенсивности рубок не более 30 %, на слабых переувлажненных почвах; при высокой квалификации вальщиков сохранность деревьев, оставляемых на лесосеке, составляет до 90 %.

Для проведения рубок по сортиментной технологии используются следующие процессы лесозаготовки в зависимости от лесорастительных условий участков лесного фонда, отведенных в рубку:

механизированный процесс (комплект бензопил и форвардер);

машинный процесс (харвестер и форвардер);

комбинированный процесс (харвестер и форвардер, комплект бензопил).

Анализ производительности наиболее отработанных технологических процессов приведен в таблице.

**Средняя производительность (м<sup>3</sup>) за рабочую смену (7 ч)  
по процессам заготовки**

Технологическая операция	Первая выборочная рубка (30...50 лет)	Последующие рубки (50...70 лет)
Механизированная лесозаготовка	5...10	10...20
Заготовка харвестером	20...40	50...80
Трелевка форвардером	50...70	70...90

За счет применения высокопроизводительных машинных комплексов на выборочных рубках, несмотря на значительный процент выборки по запасу (до 50 %), производительность агрегатов может снижаться почти в 2 раза.

Выборочные рубки с применением харвестеров и форвардеров отмечаются рядом особенностей:

уменьшение выборки по запасу увеличивает себестоимость заготавливаемой древесины;

сложно обеспечить требования неповреждаемости оставляемых деревьев и подроста;

при вылете манипулятора 8... 10 м невозможно выполнить требования Правил заготовки древесины [8] по соотношению площадей волоков и лесосек.

Как в случае использования традиционных технологий, так и в случае применения высокопроизводительной техники, характер повреждений древостоя

примерно одинаков. Повреждения на 70...80 % представлены обдиром коры, зачастую при наклоне деревьев повреждаются скелетные корни. Повреждения ствола провоцируют появление гнилей и размножение энтомофитов.

Наиболее частым нарушением лесоводственных требований при рубках многооперационными машинами является оставление высоких пней на делянках. На волоках высокие пни вынуждают оператора делать объезды, что приводит к повреждениям ближайших деревьев. Проезжая через высокие пни груженный форвардер образует на волоке ямы с уплотнением почвы.

Для оценки экономической эффективности выборочных рубок требуется рассматривать процесс заготовки комплексно, исходя из технологических, лесоводственных и временных аспектов.

В рациональном и неистощительном лесопользовании необходимо, чтобы системы рубок и технологии лесосечных работ были адекватны особенностям экосистем лесов и не причиняли ущерба средообразующей роли лесных массивов.

В технологическом аспекте Правила заготовки древесины [8] выборочными рубками накладывают жесткие требования к организации лесозаготовительного процесса.

Машины, применяемые на выборочных рубках, должны удовлетворять требованиям по производительности и возможности выполнения программ выборочных рубок при минимальных повреждениях оставляемого древостоя и почвенного покрова.

Некачественное проведение выборочных рубок или применение неподходящих машин приводит к резкому увеличению отпада, ветровалу и другим нежелательным последствиям.

На качество проведения рубок влияет множество факторов: характеристики древостоя, почвенный покров, рельеф местности, климатические условия и характеристики машин. Кроме того, правильный выбор машин будет зависеть от сценария проведения рубок (количество подходов, программа рубок, возраст древостоя).

На сегодняшний день разработана математическая модель и программное обеспечение, позволяющее рассчитывать и анализировать лесозаготовительный процесс при различных видах рубок, системах машин, схемах разработки лесосек по величине денежных затрат, с учетом практически всех работ, включая лесотранспортные [1].

Суть современной сортиментной технологии в европейских странах заключается в том, что обрезка сучьев, раскряжевка на сортименты производится на пасеке после валки деревьев, при этом требуются значительные трудозатраты на уборку лесосек после окончания лесозаготовок. При обустройстве лесопогрузочных пунктов в зоне безопасности убираются только подлежащие рубке фаутные деревья, включая опасные. Протяженность магистральных и пасечных волоков определяется размерами и конфигурацией лесосеки, ее примыканием к лесовозной дороге. Лесопогрузочные пункты, магистральные и пасечные волоки должны закладываться так, чтобы их можно было использовать для последующих приемов рубок.

В предыдущие годы механизация выборочных рубок, большей частью, представляла собой технологию с использованием техники, применяемой также для сплошных рубок. Важной задачей на сегодняшний день является активная разработка новых технологий и модернизация техники, приспособленной к различным типам лесорастительных условий для проведения, в том числе, и выборочных рубок.

На наш взгляд, разработка и внедрение полноповоротных валочно-пакетирующих машин с захватно-срезающей головкой, оснащенных накопительным устройством, с вылетом стрелы до 15 м, которая уравнивается регулируемым противовесом [2], позволит решить ряд задач:

обеспечить выполнение требований Правил заготовки древесины [8] о соотношении площадей волоков и лесосек;

уменьшить повреждаемость оставляемых древостоев;

снизить массу валочно-пакетирующих машин;

получить высокую производительность даже при заготовке небольших по объему деревьев.

После формирования пачек деревьев на волоке производится доставка пачек к лесовозной дороге и деление деревьев на комлевой и вершинный отрезки. Длина комлевого отрезка зависит от параметров каждого дерева и может быть пиловочником или длинномерными отрезками другого назначения. Вершинный отрезок отгружается с кроной. На данный способ заготовки получен патент [9]. Теоретические положения такого инновационного способа лесозаготовки и возможные варианты систем машин изложены в работе [11].

Вывозка деревьев комлевыми и вершинными отрезками позволит исключить операции по обрезке сучьев, уменьшить затраты по очистке лесосек и уборке порубочных остатков, увеличить на 10...15 % количество вывозимой древесины с единицы площади разрабатываемой лесосеки.

Для производства топливной щепы предлагается срезающе-рубильно-трелевочная машина (СРТМ) [10], которая осуществляет процесс срезания дерева, измельчение его в щепу путем вертикального опускания дерева на срезающе-рубильный диск, щепа подается в прицепной или навесной бункер. После заполнения бункер доставляется к лесовозной дороге. При этом время срезания одного дерева дисковыми фрезами составляет доли секунды, время измельчения дерева в щепу связано с мощностью привода вращения рубильного диска и параметрами дерева.

По аналогии с рубильной машиной МРН-10 (мощность привода 55 кВт, максимальный диаметр обрабатываемого дерева 22 см, скорость подачи ( $V_{\Pi}$ ) не менее 2 м/с) время на срезание и рубку в щепу  $t_p$  можно определить, используя следующую зависимость:

$$t_p = \frac{l_d}{V_{\Pi}}, \quad (1)$$

где  $l_d$  – высота дерева, м.

Общее время цикла обработки одного дерева определяется как

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{п}} + t_{\text{н}} + t_{\text{п}} + t_{\text{д}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{н}}$  – время наведения срезающе-рубительной головки (СРГ) на одно дерево, с;  
 $t_{\text{п}}$  – время перемещения машины, отнесенное к одному дереву, с;  
 $t_{\text{д}}$  – дополнительное время, необходимое для разгрузки или перецепки бункера, отнесенное к одному дереву, с.

Срезающе-рубительная головка предполагает механизм принудительного опускания и обжима кроны дерева из-за возможного взаимодействия последней с узлами и деталями машины.

Ориентировочное время цикла обработки одного дерева не превышает 15 с, что позволяет обеспечить двукратную выработку по сравнению с существующими валочно-пакетирующими машинами без накопителей.

Предлагаемые варианты машин целесообразно использовать на рубках ухода (осветлениях, прореживаниях), а также для выборки малоценной древесины.

В течение последних десятилетий основной тенденцией в развитии техники и технологии лесозаготовок во всем мире стало повышение степени механизации лесозаготовительных работ и снижение затрат ручного труда в пересчете на единицу объемов заготавливаемой продукции. Это вполне объяснимо: при традиционных технологиях лесозаготовок оплата труда (в том числе всевозможные социальные выплаты) рабочих, занятых тяжелым физическим трудом, была основным видом затрат при заготовке древесины. Ее сокращение обеспечивало наибольший рост конкурентоспособности заготовленной древесины и ее наименьшую себестоимость.

Однако следует иметь в виду, что проведение выборочных рубок не во всех насаждениях может быть оправдано с точки зрения качества древостоев. В таких насаждениях полный цикл выборочных рубок не даст экономического эффекта по сравнению с показателями от заготовки сплошными рубками.

Экономический эффект от проведения выборочных рубок имеет три основных составляющих:

1. Уменьшение времени оборота рубки приближает время получения доходов. В современных условиях, когда затраты на ведение лесного хозяйства несет лесозаготовитель, сокращение временного периода получения дохода с единицы лесной площади улучшает показатели оборачиваемости активов и повышает рентабельность.

2. Улучшение качества и повышение ценности древостоя. В результате выборочных рубок выбираются деревья ценных пород с правильной формой ствола. Увеличивается выход качественных крупномерных сортиментов и процент выхода деловой древесины [7].

3. Получение дополнительной древесины в неспелом лесу и увеличение объемов пользования древесиной с единичной площади.

При оценке выборочных рубок необходимо учитывать и другие положительные эффекты (например, повышение устойчивости древостоя против

неблагоприятных факторов), увеличение степени выполнения насаждением климаторегулирующих, водоохраных, средозащитных функций, увеличение недревесных компонентов, востребованных лесных ресурсов (грибы, ягоды, флора и фауна). Однако в связи с тем, что эти показатели зачастую трудно поддаются денежной оценке, учесть их при анализе экономических показателей рубок достаточно сложно.

Экономическими причинами, снижающими эффективность выборочных рубок, являются:

отсутствие спроса или незначительный спрос на низкосортную древесину из-за слабо развитой технической базы при ее глубокой химической и механической переработке;

необходимость четкого соблюдения и высококвалифицированного выполнения технологического цикла лесосечных работ, иногда в ущерб производительности лесозаготовительной техники, ориентированной преимущественно на проведение сплошных рубок.

Одним из сдерживающих факторов при внедрении выборочных рубок в промышленных объемах является сложность подготовки лесосечного фонда, когда на значительных площадях необходимо проводить индивидуальный отбор и клеймение подлежащих рубке деревьев.

При анализе эффективности выборочных рубок, особенно при сопоставительном анализе с другими видами рубок, следует внимательно относиться к рассмотрению показателей во временном аспекте, учитывая, что выборочные рубки, особенно с точки зрения лесозаготовительного процесса, являются растянутой во времени заготовкой древесины на одном лесном участке.

Оценка экономической эффективности видов рубок на момент осуществления заготовки древесины не в полной мере отражает многие долгосрочные затраты, которые осуществляются и отражаются на общих затратах на заготовленный 1 м<sup>3</sup> древесины тем или иным видом рубок.

При проведении выборочных рубок доля единовременных затрат на строительство дорог снижается, так как грузооборот на участке лесной территории носит более равномерный характер при прочих равных условиях по сравнению со сплошными рубками. Транспортная грузосборочная сеть в базе лесозаготовительного предприятия используется более равномерно, без возникновения пиковых нагрузок.

В то же время, в структуре затрат возрастают затраты на поддержание и содержание дорожной сети. Определить экономическую составляющую и ее влияние на эффективность лесозаготовок достаточно сложно, но отработка методики оценки косвенных затрат, обусловленных влиянием той или иной технологии лесозаготовок, должна производиться при оценке параметров видов рубок.

Учитывая, что при выборочных рубках разовый съем древесины с единицы площади значительно меньше, чем при сплошных рубках, плотность лесной инфраструктуры должна поддерживаться за счет строительства сети усов, веток, волоков постоянного действия, используемых и для выполнения лесохозяйственных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ технологических процессов лесосечных работ: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ / Тихонов И.И., Григорьев И.В., Никифоров А.А., Никифорова А.И., Григорьева О.И. № 2012616067 от 3 июля 2012 г.
2. Валочно-пакетирующая машина: пат. на полезную модель / Тихонов И.И. и др. № 119206 от 20 августа 2012 г.
3. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ: [в редакции от 12 марта 2014 г. № 27]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru>; дата обращения 16.04.2014 г. 68 с.
4. *Меньшиков В.Н.* Основы технологии заготовки леса с сохранением и воспроизводством природной среды. Л., 1987. 220 с.
5. *Минаев В.Н. и др.* Повреждение деревьев при различных технологиях при выборочных рубках: сб. науч. тр. ГЛТА. 1996. С. 68–74.
6. *Мороз П.И.* Выборочные рубки в таежных лесах. М., 1982. 128 с.
7. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий: ОНТП 02–85. Утв. приказом Минлесбумпрома СССР от 3 марта 1986 г. № 108, согласованы ГКНТ и Госстроем СССР (письмо от 13 февраля 1986 г. № 45-242). Л., 1986. 124 с.
8. Правила заготовки древесины, утвержденные приказом Рослесхоза от 01.08.2011 г. № 337: [в редакции от 1 августа 2011 г.]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru>; дата обращения 17.04.2014 г. 19 с.
9. Способ проведения лесозаготовительных работ / Тихонов И.И. и др. № 2374829 от 20 марта 2008 г.
10. Срезающе-рубительно-трелевочная машина: пат. на полезную модель / Тихонов И.И., Григорьев И.В., Якушева Т.В. № 142763 от 03 декабря 2013 г.
11. *Тихонов И.И.* Заготовка древесины полудеревьями. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 108 с.

Поступила 19.12.14

UDC 630\*201.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.9

**Selective Logging, Challenges and Solutions**

*I.I. Tikhonov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*T.V. Yakusheva, Assistant, Research Officer*

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

Institutskiy lane, 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation;

e-mail: [ivan.tikhonov2013@yandex.ru](mailto:ivan.tikhonov2013@yandex.ru), [ytvles@mail.ru](mailto:ytvles@mail.ru)

Selective loggings are carried out in order to ensure timely harvesting of ripe and over-ripe parts of the stands, creating of favorable conditions for rapid restoration of timber resources, stands conservation of uneven-aged structure, their stability, enhancement the forests productivity and their protective functions. The article deals with the problems and

importance of selective logging, their applicability in a variety of natural and industrial conditions, technologies potential of different types of selective logging in the operational and protective forests (where clear-cuttings are prohibited in accordance with the current regulations). The analysis of the application of harvesting techniques with the use of traditional technologies and modern multifunction logging machines is carried out. We studied the possibilities of full-circle feller bunchers with the pick-cutting head, equipped with a storage device and equalizing counterweight to conduct the selective cutting of high efficiency. It reduces the defectiveness of tree stands, weight of the feller-bunchers, and provides high productivity even in the smallwood felling. A new method of harvesting is proposed. It contemplates the timber transporting from the cutting areas by way of the butt and apical segments with the crowns, as well as wood chips, resulting in a new shear and chipping and skidding machine. As at the selective logging the volume of one-time felling of wood per unit of area is less than at the final felling, so the forest infrastructure density should be supported by the construction of the network of spur tracks, branches, continuous skidding trails that can be also used to carry out forest management activities. Implementation of new logging equipment, in particular full-circle feller-bunchers, will significantly increase the cost-effectiveness of selective cutting in a variety of natural and industrial environments, integrated use of forest raw materials, damage reduction of forest stands.

*Keywords:* selective logging, timber harvesting, semi-tree felling, use of forests, logging mechanization, harvesting technique, transport infrastructure.

#### REFERENCES

1. Tikhonov I.I., Grigor'ev I.V., Nikiforov A.A., Nikiforova A.I., Grigor'eva O.I. *Analiz tekhnologicheskikh protsessov lesosechnykh rabot: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM* [Analysis of the Technological Processes of Logging Operations: Certificate of State Registration of Computer Programs]. Patent RF, no. 2012616067, 2012.
2. Tikhonov I.I., et al. *Valochno-paketiruyushchaya mashina* [A Feller-Buncher]. Patent RF, no. 119206, 2012.
3. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii № 200-FZ ot 04.12.2006 g.: (v redaktsii ot 12 marta 2014 g. № 27)* [Forest Code of the Russian Federation no. 200-FZ of December 04, 2006: (as Amended on March 12, 2014 no. 27)]. Available at: <http://www.consultant.ru> (accessed 16.04.2014).
4. Men'shikov V.N. *Osnovy tekhnologii zagotovki lesa s sokhraneniem i vosproizvodstvom prirodnoy sredy* [Fundamentals of Logging Technology to the Conservation and Restoration of Natural Environment]. Leningrad, 1987. 220 p.
5. Minaev V.N., et al. *Povrezhdenie derev'ev pri razlichnykh tekhnologiyakh pri vyborochnykh rubkakh* [Trees Damage at Various Technologies at Selective Felling]. Leningrad, 1996, pp. 68–74.
6. Moroz P.I. *Vyborochnye rubki v taezhnykh lesakh* [Selective Logging in the Boreal Forests]. Moscow, 1982. 128 p.
7. *Obshchesoyuznye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya lesozagotovitel'nykh predpriyatiy: ONTP 02–85. Utv. prikazom Minlesbumproma SSSR ot 3 marta 1986 g. № 108, soglasovany GKNT i Gosstroem SSSR (pis'mo ot 13 fevralya 1986 g. № 45-242)* [All-

Union Rules for Technological Design of the Logging Companies: Industrial Sector Norms for Process Design 02-85. Approved by the Order of the Ministry of the Forest and Paper Industry of the USSR of March 03, 1986 no. 108, Agreed with the SCS & T and State Committee for Construction of the USSR (Letter Dated February 13, 1986 no. 45-242)]. Leningrad, 1986. 124 p.

8. *Pravila zagotovki drevesiny, utverzhennyye prikazom Rosleskhoza ot 01.08.2011 g. № 337: (v redaktsii ot 1 avgusta 2011 g.)* [Rules of Timber Harvesting, Approved by the Order of the Federal Forestry Agency of August 01, 2011 no. 337: (as Amended on August 01, 2011)]. Available at: [http:// www.consultant.ru](http://www.consultant.ru) (accessed 17.04.2014).

9. Tikhonov I.I., et al. *Sposob provedeniya lesozagotovitel'nykh rabot* [The Method of Logging]. Patent RF, no. 2374829, 2008.

10. Tikhonov I.I., Grigor'ev I.V., Yakusheva T.V. *Srezayushche-rubitel'no-trelevochnaya mashina* [A Shear and Chipping and Skidding Machine]. Patent RF, no. 142763, 2013.

11. Tikhonov I.I. *Zagotovka drevesiny poluderev'yami* [Semi-Tree Felling]. St. Petersburg, 2013. 108 p.

Received on December 19, 2014

---

---

УДК 674.032.475.2+630\*43  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.19

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСЛЕПОЖАРНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ РУДНОГО АЛТАЯ**

*А.А. Калачев<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук*

*С.В. Залесов<sup>2</sup>, д-р с.-х. наук, проф.*

<sup>1</sup>Алтайский филиал Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации, ул. Островского, д. 13А, г. Риддер, Восточно-Казахстанская область, Республика Казахстан, 071302; e-mail: kalachev\_75\_los@mail.ru

<sup>2</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: Zalesov@usfeu.ru

Обширная территория на юго-западной периферии Алтае-Саянской горной страны выделена в особый физико-географический регион – Рудный Алтай. Большое количество осадков и значительный запас тепла способствуют развитию в регионе своеобразной формации лесов – черневой тайги, где основной лесообразующей породой является пихта сибирская. Пирогенный фактор, наряду с заготовкой древесины, оказывает важную роль в формировании состава и структуры лесного фонда Рудного Алтая. Цель исследований заключалась в установлении возрастных стадий естественного восстановления пихты на участках, пройденных пожарами. Основными задачами являлись анализ динамики послепожарного восстановления пихтовых древостоев и изучение процессов естественного возобновления на гаях. При сборе первичных материалов для изучения динамики лесного фонда придерживались общепринятого методологического подхода. Анализ динамики лесного фонда проводился в пределах одинаковых границ. Для выбранных кварталов выписывались таксационные характеристики выделов и их распределение по категориям земель за несколько лесоинвентаризационных периодов. Для изучения естественного возобновления применялся метод учетных площадок по А.В. Побединскому. В результате исследований раскрыты процессы естественного возобновления пихты сибирской, установлены количественные показатели подроста пихты на различных стадиях и проведена оценка успешности лесовозобновления. Отмечено неудовлетворительное естественное возобновление на первых двух стадиях лесообразовательного процесса. Подрост пихты встречается крайне редко и только в непосредственной близости к стенам леса или сохранившимся куртинам пихты. Установлено, что восстановление и формирование растительности в первые 150 лет после пожара в условиях пихтача травяно-папоротникового последовательно во времени проходит через три восстановительно-возрастные стадии. Первая стадия – свежие гари, характеризуется полной гибелью всех компонентов фитоценозов. Остатки материнского древостоя, как и валеж, начинают заселяться стволовыми энтомовредителями. Вторая стадия – травяно-кустарниковые ассоциации и формирование листовенных молодняков. Накапливается самосев березы, рябины, ивы, которые, наряду с корнеотпрысковыми экземплярами осины, совместно начинают заселять пространство гари, образуя куртины. Третья стадия – производные березняки или осинники с подростом пихты во втором ярусе. Период господства производных

березняков или осинников первой или даже второй генераций с подростом пихты во втором ярусе. К 150 годам на склонах северных экспозиций, в западинах и микропонижениях возможно формирование средневозрастных пихтарников. Процесс восстановления гарей начинается с формирования куртин из лиственных пород и сопровождается дальнейшим пространственным их расселением. Увеличение полноты лиственных насаждений стимулирует накопление подроста темнохвойных пород. Большая растянутость лесообразовательного процесса (более 150...200 лет), а также периодичность в семяношении и сложности в накоплении подроста обуславливают разновозрастность пирогенных пихтовых насаждений. Естественное возобновление на первых двух стадиях оценивается как неудовлетворительное.

*Ключевые слова:* Рудный Алтай, пихтовые леса, лесные пожары, лесообразовательный процесс, восстановительно-возрастные стадии.

### *Введение*

Обширная территория на юго-западной периферии Алтае-Саянской горной страны выделена в особый физико-географический регион – Рудный Алтай. Большое количество осадков и значительный запас тепла способствуют развитию в регионе своеобразной формации лесов – черневой тайги, где основной лесобразующей породой является пихта сибирская. Это достаточно обеспеченный лесом регион, который издавна привлекал внимание лесопромышленников, деятельность которых, наряду с лесными пожарами, привела к значительным изменениям в составе и структуре лесного фонда. Результатом такого воздействия является преобладание производных мягколиственных насаждений и кустарниковых зарослей, общая доля которых в покрытых лесом землях составляет 51% [6].

Какова же степень влияния лесных пожаров в целом по Рудному Алтаю? Этот вопрос остается открытым из-за недостаточности исторических сведений о лесном фонде, однако результаты первых лесоустроительных работ, проведенных в регионе в 1885–1886 гг., свидетельствуют о том, что леса пирогенного происхождения уже тогда присутствовали в регионе, поэтому изучение естественной послепожарной динамики лесообразовательного процесса представляет не только научный, но и практический интерес.

### *Методологический подход*

При сборе первичных материалов для изучения динамики лесного фонда придерживались определенного методологического подхода [9]. Оценка лесного фонда и анализ его динамики проводился в пределах одинаковых границ. Из выбранных кварталов выписывались все таксационные характеристики выделов, относящихся к покрытым лесом землям, и площади лесных земель за несколько инвентаризационных периодов. Сопоставление таких данных позволило оценить результативность лесохозяйственной деятельности

и ее целенаправленность в плане улучшения динамики лесного фонда. Для изучения естественного возобновления применялся метод учетных площадок по А.В. Побединскому [7].

#### *Результаты исследований*

Послепожарная динамика восстановления хвойных древостоев проанализирована на примере участка площадью 6380 га в бассейне рек Тениха, Игнашиха и Колбяный ключ Зырянского лесного учреждения (табл. 1), где 35% территории было уничтожено пожарами 1860–1862 гг. [3, 4].

Первое лесоустройство отметило на территории участка значительные площади «горелого леса», а лесоустройство 1911–1913 гг. позволило установить площадь сгоревших насаждений – 2237 га, которые таксировались как «старые редины-прогалины», или «старые гари-редины». Спустя полвека после пожаров на горях отмечены береза, осина и редко пихта. За 50 лет из пройденных огнем 7590 га в целом по лесному учреждению возобновилось пихтой лишь 141 га.

При лесообследовательских работах в 1925 г. все еще отмечались места старых гарей с куртинным возобновлением березы, и лишь лесоустройством 1931–1932 гг., т. е. через 70 лет после пожара, большинство площадей протаксированы как редины лиственных пород. Многие участки отнесены к прогалинам и кустарникам, лишь отдельные березовые и осиновые колки переведены в покрытые лесом земли [3].

Спустя 150 лет после пожаров для возникших производных лиственных насаждений уже второй генерации или в распадающихся первой генерации характерна обратимость лесовосстановительных смен: на склонах южных экспозиций, занятых производными березняками или осинниками, отмечен благонадежный подрост пихты, его участие в составе достигает до 1–3 ед. На склонах северных экспозиций и в низинах формируется разновозрастное пихтовое насаждение II–VII классов возраста [4].

Анализ послепожарной динамики древесной, кустарниковой и травянистой растительности, а также результатов изучения процессов естественного возобновления пихты на горях различных сроков давности позволяет утверждать, что естественное восстановление и формирование растительности в первые 150 лет после пожара сильной интенсивности во времени происходит через установленные нами восстановительно-возрастные стадии.

Первая стадия: свежие гари (рис. 1). Продолжительность данного этапа: после верхового пожара – до 2 лет, после устойчивого низового – до 5 лет. Она характеризуется полной или частичной гибелью всех компонентов пихтовых фитоценозов. Остатки материнского древостоя, как и валеж, начинают заселяться стволовыми энтомофагами.

Таблица 1

## Послепожарная динамика лесных угодий в бассейне рек Тенихи, Игнашихи и Колбяного ключа

Год лесоустройства	Площадь, га	Лесные угодья											Всего лесных угодий	
		покрытые лесом					не покрытые лесом					Несомкнувшиеся лесные культуры		
		Пихта	Береза	Осина	Кустарники	Итого покрытых лесом	Редины	Гари	Вырубки	Прогалины и пустоши	Итого не покрытых лесом			
1885–1886	6380	3229	19	79	180	3507	101	2240	–	220	2561	–	–	6068
1910–1913	6380	1922	142	108	56	2228	1216	2237	–	223	3676	–	–	5904
1925	6380	2337	142	108	56	2643	801	2237	–	223	3261	–	–	5904
1932–1933	6380	2009	168	154	744	3075	2177	–	–	834	3011	–	–	6068
1963	6380	1371	856	667	704	4068	737	–	768	531	2036	–	–	6104
1973	6380	1259	728	880	695	4059	517	–	1192	333	2042	–	21	6129
1976–1977	6305	1175	560	871	300	2906	151	1435	1252	100	2938	–	–	5844
1986–1987	6305	1062	1406	1447	518	4433	666	–	548	219	1433	–	175	6041
1997–1998	6305	1320	1543	1399	626	4888	594	–	97	219	910	–	126	5924
2010–2011	6305	2043	2000	1462	361	5866	41	–	–	–	41	–	–	5907

Пожары 1974 г.

Рис. 1. Первая восстановительно-возрастная стадия послепожарного формирования растительности (свежая 2-летняя пихтовая гарь)



Вторая стадия (рис. 2): травяно-кустарниковые ассоциации и формирование лиственных молодняков (от 3 до 10...15 лет). На первоначальном этапе она представлена сочетанием на гарях нескольких основных видов трав и кустарников. Начинают появляться спирея и малина. При наличии источников семян накапливается самосев березы, рябины, ивы, которые, наряду с корнеотпрысковыми экземплярами осины, совместно начинают заселять пространство гари, образуя куртины. Продолжительность и характер этой стадии определяется в большинстве случаев наличием семян березы и характером их распространения, а также возможностью появления осины вегетативного происхождения.

Смыкание лиственного полога происходит к 10...11 годам после пожара, причем лиственные молодняки размещены на гарях неравномерно: березовые – в виде полос шириной до нескольких десятков метров в небольших понижениях или на ровных участках, а также единичными особями равномерно по площади; осиновые – куртинами (очагами) диаметром до 15 м вокруг погибших материнских деревьев.

Рис. 2. Вторая восстановительно-возрастная стадия послепожарного формирования растительности (11-летняя пихтовая гарь на западном склоне)



Третья стадия (от 16 до 150...200 лет). Это период господства производных березняков или осинников первой или даже второй генераций с подростом пихты во втором ярусе. К 150 годам на склонах северных экспозиций, западинах и в микропонижениях возможно формирование средневозрастных пихтарников (рис. 3).

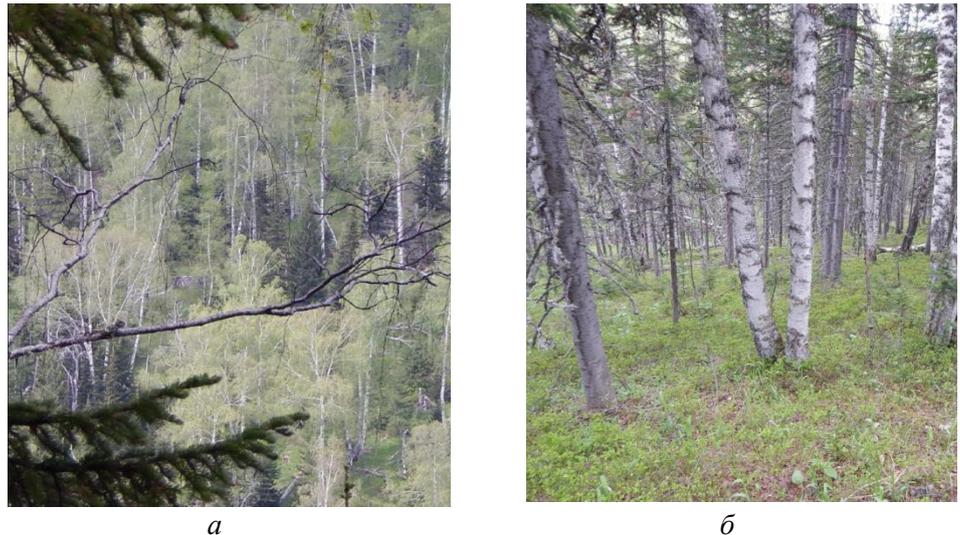


Рис. 3. Третья стадия с насаждениями, сформировавшимися на склонах ЮВ (*а*) и СЗ (*б*) экспозиций через 150 лет после пожара

Изучение процессов естественного возобновления и учет подроста пихты на различных стадиях свидетельствует о том, что определяющая роль в процессе формирования травянистого, кустарникового и древесного покровов, наряду с интенсивностью горения, принадлежит условиям произрастания.

На первой стадии, независимо от условий произрастания, естественное возобновление пихты отсутствует. После пожара увеличивается доля участия травостоев и видовое разнообразие злаков.

На второй стадии, на склонах С-СВ и В экспозиций, формируются малиново-рябиновые ассоциации, из древесных видов преобладает береза и ива. На склонах СЗ и З экспозиций наибольшее распространение получают малиново-спирейные сообщества, из древесных видов преобладает осина. Лесо-водственная характеристика второй стадии послепожарного формирования древостоев, составленная по описанию и учету возобновления на десяти пробных площадях (ПП), представлена в табл. 2.

Первый участок, подобранный для изучения послепожарной динамики пихтовых лесов, расположен в 46-м квартале Кедровского лесничества Пихтовского лесного учреждения. Он представляет собой 11-летнюю частично разработанную гарь общей площадью около 200 га, охватившую верхнюю часть хребта и склон СЗ экспозиции крутизной 15°. Исходный тип леса – пихтач травяно-папоротниковый.

Таблица 2

**Лесоводственная характеристика естественного возобновления  
второй стадии послепожарного формирования древостоев  
(давность пожара 11 лет)**

№ ПП	Состав древостоя до пожара	Порода	Количество подроста, шт./га, по высотным группам, м				Оценка возобновления
			до 0,2	0,21...1,0	более 1,0	Итого	
1, 2	8П2Ос+Б	П	2000	480	180	2660	Неудовл.
		Ос	–	–	400	400	
3, 4	8П2Ос+Б	Ос	–	–	9400	9400	Неудовл.
		Б	–	–	800	800	
		П	–	–	–	0	
5	8П2Б	П	–	–	–	0	Неудовл.
		Б	–	–	2353	2353	
6	9П1Ос+Б	П	–	–	–	0	Неудовл.
		Ос	–	–	5000	5000	
		Б	–	–	400	400	
7, 8	7ПЗБ	П	240	640	360	1240	Неудовл.
		Б	–	–	6000	6000	
9, 10	7ПЗБ	П	120	–	–	120	Неудовл.
		Б	–	–	7400	7400	
		Б	–	345	3966	4311	

На исследуемой гари повсеместно наблюдаются погибшие, но еще не упавшие деревья. Вся территория гари сильно захламлена поваленными деревьями и сучьями, почва сильно задернена. Основные представители древесной и кустарниковой растительности на гари – осина, береза, рябина, ива древовидная, черемуха, бузина. Травяной покров представлен крупнотравными и злаковыми растениями. Здесь заложено всего 4 ПП.

Первые две ПП заложены ближе к краю гари, на склоне СЗ экспозиции, где верховой пожар перешел в низовой. Состав исходного древостоя – 8П2Ос+Б, полнота 0,7, класс бонитета III. Под пологом уцелевших после пожара изредка встречающихся куртин пихты (80 лет) или в непосредственной близости от них зафиксирован подрост пихты высотой от 0,2 до 2,0 м. Сохранившийся подрост выше 1,0 м, как правило, предварительной генерации, что подтверждается его возрастом (20...25 лет), зачастую имеет механические повреждения, полученные при разработке горельника. Третья и четвертая ПП заложены в эпицентре гари и охватывают вершину хребта. Здесь наблюдается сильная захламленность, отсутствует подрост пихты, появлению которого препятствует густой высокий травостой. Тем не менее процесс возобновления древесными породами происходит и представлен на данном этапе рябиной (высота до 2,5 м) и осинкой (до 4,0 м). Густота подроста осины, который произрастает очагами диаметром до 25 м, достигает 1880 шт./га. Подрост березы семенного происхождения встречается единично.

Второй исследуемый участок, представляет собой 11-летнюю пихтовую гарь (ПП 5–10) и расположен в 47-м квартале Журавлихинского лесничества КГУ «Риддерское ЛХ». Общая площадь гари более 250 га. Она охватывает верхнюю часть склона СЗ–С–СВ экспозиций крутизной до 10°. Исходный состав древостоя – 8П2Б, полнота 0,5. Характеризуя участок, можно отметить, что гарь частично разработана, о чем свидетельствует наличие пней диаметром более 16 см. Весь тонкомер оставлен. Территория сильно захламлена сучьями и валежником. На склоне имеются уцелевшие после пожара куртины пихты с примесью березы, которые играют роль обсеменителей. Вблизи куртин пихты встречается редкий подрост предварительной генерации. Основная часть исследуемой площади постепенно зарастает березой семенного происхождения, которой насчитывается 2353 шт./га (рис. 4).

Следующий участок для изучения послепожарной восстановительно-возрастной динамики темнохвойных лесов (третья стадия) расположен в труднодоступной местности на территории Кедровского лесничества Пихтовского лесного учреждения. Характеризуя лесорастительные условия участка, отметим, что 34-летняя гарь охватывает среднюю и верхнюю части склона С–СВ экспозиций крутизной до 25°.

Исходный состав древостоя до пожара на участке 9П1Б. Его полнота, судя по редко встречающемуся валежу, который уже почти полностью «затянут» травой, средняя, предположительно 0,5.

На вершинах склона, где проходит граница гари, наблюдаются сухостойные пихты, постепенно отмершие после пожара, но находящиеся в вертикальном положении. Гарь не разработана. Практически весь склон СВ экспозиции (передний план, рис. 5) возобновился березой семенного происхождения в количестве 4311 шт./га. Возраст подроста и молодняка березы колеблется от 5 до 30 лет, расположение – небольшими колками.

Рис. 4. Вторая восстановительно-возрастная стадия послепожарного формирования растительности (11-летняя пихтовая гарь)





Рис. 5. Третья стадия (панорамный вид 34-летней гари)

Количество подроста пихты достигает 3724 шт./га, который произрастает под пологом производных березовых насаждений и имеет куртинное размещение. На таких склонах в будущем сформируется низкополнотное насаждение пихты. На склоне С экспозиции (дальний план, рис. 5) подрост предварительной и последующей генераций высотой более 1,0 м расположен равномерно по склону и формирует редины. Период восстановления коренных хвойных насаждений в таких условиях составит не менее 150...200 лет.

#### *Заключение*

Таким образом, пирогенный фактор оказывал и оказывает решающую роль во всех лесообразовательных процессах в горных лесах. Особенности послепожарной восстановительной динамики определяются лесорастительными условиями и биологическими свойствами пород, слагающих древостой. На Рудном Алтае восстановление и формирование растительности в первые 150 лет после пожара сильной интенсивности в условиях пихтача травяно-папоротникового последовательно во времени проходит через следующие восстановительно-возрастные стадии: первая – свежие гари (до 2...3 лет после пожара); вторая – травяно-кустарниковые ассоциации и формирование лиственных молодняков (от 4 до 10...15 лет); третья стадия – производные березняки или осинники с подростом пихты во втором ярусе (от 16 до 150 лет и более).

Процесс восстановления гарей в темнохвойной и черневой тайге начинается с формирования куртин из лиственных пород и сопровождается дальнейшим пространственным их расселением. Увеличение полноты лиственных насаждений стимулирует накопление подроста темнохвойных пород.

Большая растянутость лесообразовательного процесса (более 200 лет), а также периодичность появления подроста обуславливают разновозрастность пирогенных пихтовых насаждений. В общих чертах лесовосстановительная динамика гарей в черневой и темнохвойной тайге Казахстанского Алтая напоминает схему развития производных березняков с подростом пихты и ели Г.Ф. Морозова [5].

Отметим, что в лесах Зауралья и Сибири уже к 8...10 годам после пожара отмечается появление первых экземпляров хвойного подроста [1, 2, 8]. В условиях Рудного Алтая, территория которого расположена на крайней южной границе распространения пихтовых лесов, появление подроста пихты на гарях, образованных повальными лесными пожарами, в этот период не наблюдается, поэтому, в отличие от северных регионов, третья стадия и, соответственно, господство лиственных пород, продолжается длительное время (150 лет и более). Выход пихты в главный полог насаждения и ее преобладание в составе будет являться началом четвертой стадии послепожарного формирования древостоев. Таким образом, период полного восстановления исходного коренного хвойного древостоя после пожаров в условиях Рудного Алтая составляет не менее 200 лет.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузыкин А.И. Альтернативность пирогенного воздействия и последствия на древесные ценозы // Пожары в лесных экосистемах Сибири. Красноярск : ИЛИД СО РАН, 2008. С. 100 – 102.
2. Буряк Л.В., Лузганов А.Г., Матвеев П.М., Каленская О.П. Влияние низовых пожаров на формирование светлохвойных насаждений юга Средней Сибири. Красноярск: СибГТУ, 2003. 206 с.
3. Глазырин В.М. Изучение лесообразовательного процесса в темнохвойных лесах Рудного Алта: отчет о НИР. Алма-Ата : КазСХИ, 1981. 124 с.
4. Калачев А.А., Изергина М.О. Послепожарная динамика темнохвойных лесов Казахстанского Алтая // Исследования и результаты. Алматы, 2013. № 2. С. 98 –104.
5. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.; Л., 1930. 412 с.
6. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Восточно-Казахстанской области (горный регион). Алматы, 2009. 363 с.
7. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М., 1966. 64 с.
8. Санников С.Н. Естественное возобновление сосны на сплошных вырубках и гарях и пути его улучшения // Природа и лесное хозяйство Припышминских боров. Екатеринбург : УрО РАН, 1997. С. 23 – 26.
9. Шейнгауз А. Методические рекомендации по анализу динамики лесного фонда. Хабаровск, 1986. 41 с.

Поступила 25.03.15

UDC 674.032.475.2+630\*43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.19

**Post-Fire Recovery Peculiarities of Siberian Fir-Tree Stands Under Conditions of Rudny Altai**

*A.A. Kalachev<sup>1</sup>, Candidate of Agriculture*

*S.V. Zalesov<sup>2</sup>, Doctor of Agriculture, Professor*

<sup>1</sup>Altai Branch of Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry, Ostrovsky str., 13A, Ridder, East Kazakhstan Region, 071302, Republic of Kazakhstan; e-mail: kalachev\_75\_los@mail.ru

<sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University, Sibirsky Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: Zalesov@usfeu.ru

The vast territory in the south-western periphery of the Altai-Sayan mountain country is identified as a special physical-geographical region – Rudny Altai. High rainfall and a considerable amount of heat provide the development of the peculiar forest formation in the region known as black taiga, where the Siberian fir is the main forest forming species. Pyrogenic factor along with timber harvesting is very important in the formation of the composition and structure of the forest area of Rudny Altai. Study objective was to determine the age stages of fir natural regeneration on the burnt areas. The main tasks were to analyze the dynamics of post-fire recovery of the fir stands and the study of natural regeneration processes on the burnt areas. When collecting primary data for the study of forest dynamics we adhered to the generally accepted methodological approach. Forest dynamics analysis was carried out within the same boundaries. Taxation parameters of allotments and their categorization for a few forest inventory periods were discharged for the selected land plots. A.V. Pobedinskiy discount areas method was used to study the natural regeneration. As a result of the study the natural regeneration processes of Siberian fir were revealed, fir undergrowth quantitative parameters at different stages were established and reforestation success was evaluated. Poor natural regeneration in the first two stages of the forest forming process was noted. Fir undergrowth was met extremely rare and only in close proximity to the forest edge or surviving separated fir groups. It was found that the recovery and formation of the vegetation for the first post-fire 150 years in grass ferny fir forest conditions pass through three consequent recovery and age-related stages. The first stage is the recent burnt areas, which are characterized by complete loss of all the components of biocenoses. Secondary insects start to attack the parent forest stand debris as well as windfall. The grass and shrub associations and deciduous saplings formation characterize the second stage. Birch, mountain ash, willow natural seeding is been accumulated. They start to grow at burnt areas along with burr-type specimens forming the separated forest stands. The third stage is described by the derivatives of birch or aspen forests with fir undergrowth in the second tree layer. It is a period of derivative birch or aspen forest domination of the first or even the second generation with fir undergrowth in the second tree layer. Middle-aged fir forests can be formed on the northern slopes, dishes and microdepressions by 150 years. The recovery process of burnt areas begins with broadleaved species groups' formation and is accompanied by their further spatial dispersal. Hardwood increase induces the accumulation of dark coniferous undergrowth. The long period of forest formation (more than 150...200 years) as well as periodicity in fruitification and complexity in the accumulation of undergrowth cause

uneven-aged pyrogenic fir forests. Natural regeneration in the first two stages is assessed as unsatisfactory.

*Keywords:* Rudny Altai, fir forest, forest forming process, recovery and age-related stages.

#### REFERENCES

1. Buzykin A.I. Al'ternativnost' pirogenogo vozdeystviya i posledstviya na drevesnye tsenozy [Alternativity of Pyrogenic Impact and the Effects on Wood Facies]. *Pozhary v lesnykh ekosistemakh Sibiri* [Fires in Forest Ecosystems of Siberia]. Krasnoyarsk, 2008, pp. 100–102.
2. Buryak L.V., Luzganov A.G., Matveev P.M., Kalenskaya O.P. *Vliyanie nizovykh pozharov na formirovaniye svetlokhvoynykh nasazhdeniy yuga Sredney Sibiri* [The Surface Fires Impact on the Formation of the Light Coniferous Forests of the South of the Central Siberia]. Krasnoyarsk, 2003. 206 p.
3. Glazyrin V.M. *Izucheniye lesoobrazovatel'nogo protsesssa v temnokhvoynykh lesakh Rudnogo Alta: otchet o NIR* [The Study of the Forest Forming Process in the Dark Coniferous Forests of Rudny Altai: Report of Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry]. Alma-Ata, 1981. 124 p.
4. Kalachev A.A., Izergina M.O. Poslepozharnaya dinamika temno-khvoynykh lesov Kazakhstanskogo Altaya [Post-Fire Dynamics of the Dark Coniferous Forests of Kazakhstan Altay]. *Issledovaniya i rezul'taty* [Research, Results], 2013, no. 2, pp. 98–104.
5. Morozov G.F. *Ucheniye o lese* [The Doctrine of the Forest]. Moscow; Leningrad, 1930. 412 p.
6. *Osnovnye polozeniya organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva Vostochno-Kazakhstanskoy oblasti (gornyy region)* [The Main Provisions of Organization and Forest Management of the East Kazakhstan Region (Mountain Region)]. Almaty, 2009. 363 p.
7. Pobedinskiy A.V. *Izucheniye lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The Study of the Forest Regeneration Processes]. Moscow, 1966. 64 p.
8. Sannikov S.N. Estestvennoye vozobnovleniye sosny na sploshnykh vyrubkakh i garyakh i puti ego uluchsheniya [Natural Regeneration of Pine Tree in Clean Fellings and Burnt Areas and Improvement Methods]. *Priroda i lesnoe khozyaystvo Prip'yshminskikh borov* [Nature and Forestry of Prip'yshmin Coniferous Forests]. Yekaterinburg, 1997, pp. 23–26.
9. Sheyngauz A. *Metodicheskie rekomendatsii po analizu dinamiki lesnogo fonda* [Recommended Practice for the Dynamics Analysis of a Forest Fund]. Khabarovsk, 1986. 41 p.

Received on March 25, 2015

УДК 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.31

## **АССИМИЛЯЦИОННЫЙ АППАРАТ ЕЛИ В КУЛЬТУРАХ НА ДОЛГОМОШНОЙ ВЫРУБКЕ**

*Н.Р. Сунгурова, канд. с.-х. наук, доц.*

*В.Н. Коновалов, д-р с.-х. наук, проф.*

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

На ранней стадии развития древостоя о жизнеспособности и потенциальных возможностях формирования ценных лесных насаждений можно судить по характеристикам развития и функционального состояния ассимиляционного аппарата деревьев. Изучен ассимиляционный аппарат 36-летних культур ели, произрастающих на долгомошной вырубке в северной подзоне тайги Архангельской области. Определена масса хвои различного возраста, формирующаяся в разных частях кроны. Установлены морфологические и биометрические показатели фотосинтетического аппарата. В среднем долговечность хвои составляет 10,7 лет в еловых культурах, созданных между рядами культур сосны, и 7,7 лет – в культурах, созданных на открытом месте. Причем в верхней части кроны продолжительность жизни фотосинтетического аппарата составляет 4,0...8,0, в средней – 9,5...10,5, в нижней – 9,5...13,5 лет в зависимости от местопроизрастания. Сравнивая биометрические показатели хвои ели, высаженной на участках с разными способами обработки почвы, можно заключить, что растения, располагающиеся на микроповышениях, имеют лучшие условия роста в данном типе леса и, следовательно, обладают наивысшими показателями по длине, ширине, толщине и площади хвоинки. Одной из важных характеристик продукционного процесса фитоценозов является листовая индекс, который считается наиболее удобной величиной для сравнения продуктивности биогеоценозов. Этот показатель во многом определяет степень трансформации лесными фитоценозами факторов среды и фотосинтетическую деятельность растений. Каждый тип фитоценоза характеризуется определенным показателем листового индекса древесной растительности. В литературных источниках отмечается, что по мере продвижения на север, а также с ухудшением дренажа и увеличением избыточного увлажнения величина поверхности листьев снижается. В изучаемых нами искусственно созданных молодняках ели индекс листовой поверхности равен 2,17...15,68 га/га, что указывает на правильно подобранную технологию создания лесных культур в данных лесорастительных условиях. Для насаждений созданы благоприятные условия, в которых они развиваются, достигая по производительности показателей, близких к зеленомошной группе средней подзоны тайги.

*Ключевые слова:* культуры ели, ассимиляционный аппарат, хвоя, крона, листовой индекс, биометрические показатели.

### *Введение*

На ранней стадии развития древостоя о жизнеспособности и потенциальных возможностях формирования ценных насаждений можно судить по

характеристикам развития и функционального состояния ассимиляционного аппарата деревьев [10].

Одной из основных характеристик ассимиляционного аппарата является возраст хвои на ветвях. Длительность жизни хвои сильно варьирует и по типам леса, и внутри насаждения от дерева к дереву, и в кроне каждого дерева. Длина хвои как биометрический показатель сравнительно часто применяется в исследованиях при выявлении влияния экологических факторов на рост и производительность насаждений [1]. Этот показатель в достаточной мере отражает благоприятность условий произрастания и весьма чувствителен к изменениям окружающей среды. Как известно, хвоя активно реагирует на изменение водного режима насаждений. Длина хвои находится в прямой зависимости от содержания в ней макро- и микроэлементов, а также концентрации в почве элементов минерального питания [12]. Одной из важных характеристик продукционного процесса фитоценозов является листовой индекс, т. е. отношение поверхности листьев к единице площади. Этот показатель во многом определяет степень трансформации лесными фитоценозами факторов среды и фотосинтетическую деятельность растений [2, 4, 11, 16, 17]. По мнению ряда авторов [3, 13, 15], листовой индекс удобен для сравнения продуктивности биогеоценозов.

Целью работы было изучение ассимиляционного аппарата 36-летних культур ели, произрастающих на долгомошной вырубке в северной подзоне тайги Архангельской области.

#### *Материалы и методы*

Изучение ассимиляционного аппарата проводилось нами в 36-летних искусственных еловых молодняках на долгомошной вырубке в северной подзоне тайги Архангельской области. Исследованы следующие варианты создания лесных культур: 1) 2-летние сеянцы ели, высаженные по пластам чередованием с рядами сосны (схема Е-С-Е-С-Е-С); 2) 2-летние сеянцы ели, высаженные по фрезерованным полосам чередованием с культурами сосны (схема Е-С-Е-С-Е-С); 3) 3-летние сеянцы ели, высаженные по фрезерованным полосам на открытом участке вырубки; 4) 2-летние сеянцы ели, высаженные по пластам на открытом участке вырубки. Характеристика 36-летних культур приведена в табл. 1.

При изучении ассимиляционного аппарата использовали рекомендации А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко (1983), Н.И. Базилевича и др. (1978), методики П.А. Феклистова и др. (1997), К.С. Бобковой и др. (1993). Для исследования в каждом варианте из разных ступеней толщины отбирали 10 модельных деревьев, крону которых размечали на три равные части (верхнюю, среднюю и нижнюю). Затем от каждой части отбирали среднюю по диаметру у основания и длине ветвь, с которой обрывали всю хвою по годам.

Таблица 1

## Характеристика 36-летних культур ели

Вариант опыта	Высота, м	Диаметр, см	Количество, шт./га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
1	7,1	8,0	3228	75	III
2	5,3	5,7	1734	46	IV
3	3,5	3,8	1496	34	V
4	4,8	6,0	2948	53	IV

Оборванную хвою подсчитывали и взвешивали на электронных технических весах с точностью  $\pm 10$  мг, определяли массу средней хвоинки. Длину, ширину и толщину хвоинки измеряли электронным штангенциркулем с точностью  $\pm 0,01$  мм. Данные о размерах хвоинок использовали для определения их площади:

$$S = 5,14L \left( \frac{a + \frac{b}{2}}{2} \right),$$

где  $S$  – площадь хвоинки, мм<sup>2</sup>;

$L$  – длина хвоинки, мм;

$a$  – толщина хвоинки, мм;

$b$  – ширина хвоинки, мм.

Сухую массу хвои и влажность хвои определяли термостатным методом.

*Результаты исследований и их обсуждение*

Долговечность хвои в еловых культурах, созданных между рядами культур сосны, в среднем составляет 10,7 лет (табл. 2), в культурах, созданных на открытом месте, – 7,7 лет. Причем в верхней части кроны продолжительность жизни фотосинтетического аппарата ниже и в зависимости от местопрорастания равняется 4,0...8,0 лет, тогда как в средней – 9,5...10,5, в нижней – 9,5...13,5 лет. Ф.Н. Дружинин [6], изучая ассимиляционный аппарат в производных еловых лесах южной подзоны тайги, установил, что продолжительность жизни хвои в нетронутых древостоях, а также в насаждениях, пройденных рубками ухода, составляет 12 лет; при полной уборке листовного полога она сокращается до 8 лет. Г.А. Кононюк [8], исследуя искусственные и естественные еловые насаждения г. Архангельска, отметила, что продолжительность жизни хвои ели в центре города составляла около 5 лет, в пригородных лесах (ельник черничный) – 8...9 лет. По наблюдениям Г.С. Тутыгина, Ю.И. Поташевой [14] в еловых искусственных насаждениях 56–62-летнего возраста средней подзоны тайги продолжительность жизни хвои колеблется от 9 до 14 лет.

Проведение исследований биометрических показателей хвои лесных культур, выращенных в различных вариантах их создания, необходимо в целях прогнозирования роста и развития древостоя.

Таблица 2

Вариант опыта	Масса хвои (в числителе – в граммах, в знаменателе – в процентах) возраста, лет														Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	13,75	14,38	13,00	8,48	5,24	3,06	1,64	1,08	0,35	0,42	0,36	0,21	0,06	-	61,59
2	20,7	23,1	20,6	14,1	9,1	5,3	2,9	1,94	0,8	1,0	0,8	0,6	0,2	-	22,05
3	5,27	5,34	4,07	2,54	1,42	1,11	0,99	0,58	0,38	0,56	0,33	0,18	0,22	0,17	23,3
4	24,4	23,7	18,1	11,5	6,3	5,1	4,7	2,6	1,7	2,2	2,0	1,1	1,4	1,1	35,23
	6,53	5,73	3,72	2,18	2,14	1,44	0,87	0,42	0,23	0,06	-	-	-	-	
	33,3	27,2	16,7	9,6	8,4	5,8	3,4	1,6	0,9	0,2	-	-	-	-	
	9,53	8,80	6,71	2,90	2,52	1,72	1,03	1,01	0,37	0,55	0,1	-	-	-	
	30,8	27,5	21,0	8,2	6,8	4,6	2,8	2,6	1,0	1,6	0,3	-	-	-	

Для хвои ели отмечена закономерность, согласно которой размеры хвои 2- и 3-го годов жизни соответственно на 15...20 и на 20...30 % больше, чем у хвои 1-го года [7]. По исследованиям Г.А. Кононюк [8] в пригородной зоне г. Архангельска длина хвои ели варьирует в пределах 11,01...14,13, ширина – 0,96...1,21, толщина – 0,64...0,87 мм, площадь хвоинки – 31,69...52,21 мм<sup>2</sup>. О.А. Есякова, В.М. Воронин, Р.А. Степень [7] отмечают, что в еловых насаждениях Сибири хвоя имеет длину 10,4...22,1, толщину 0,56...1,07, ширину 0,68...1,22 мм. По данным О.А. Гвоздухиной [5] в культурах различного географического происхождения в условиях средней подзоны тайги длина хвои ели изменяется от 10 до 17 м.

Сравнивая биометрические показатели фотосинтетического аппарата ели, высаженной по разным способам обработки почвы (табл. 3), можно сделать заключение, что растения, располагающиеся на микроповышениях обладают наивысшими показателями по длине, ширине, толщине и площади хвоинки, так как имеют лучшие условия роста в данном типе леса.

Размеры хвои ели, произрастающей на открытом месте, при прочих равных условиях, больше, чем у особей, произрастающих в насаждении. Это заключение подтверждают и исследования Ф.Н. Дружинина [6] в производных еловых лесах южной подзоны тайги. При этом по его данным, у растений, произрастающих на открытом месте, размеры фотосинтетического аппарата больше в верхней части кроны, у особей ели, располагающихся в древостое, наивысшие показатели отмечены в нижней части полога.

В наших опытах масса средней хвоинки колеблется от 4,2 до 5,4 мг (табл. 4). В культурах, произрастающих на пластах, масса средней хвоинки на 29 % больше, чем на фрезполосах. Различие средних значений данного показателя является достоверным ( $t = 3,10$  при  $t_{005} = 2,2$ ). Г.А. Кононюк [8] отмечает, что в Архангельской области этот показатель в естественных ельниках черничных составляет 4,9...6,6 мг, в молодняках искусственного происхождения – 4,5 мг.

Таблица 3

## Биометрические показатели хвой ели в зависимости от варианта опыта

Вариант опыта	Размеры хвой возраста, лет														Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	<i>Длина, мм</i>														
1	10,80	11,19	12,01	12,93	13,24	13,69	14,11	13,75	14,94	13,31	10,69	10,02	12,75	–	12,31
2	10,81	11,01	11,57	12,55	11,05	11,58	12,39	11,97	11,18	11,77	10,75	9,04	12,06	13,83	11,43
3	9,99	10,07	10,62	9,82	11,85	12,80	10,84	14,68	12,07	13,69	–	–	–	–	10,86
4	9,98	11,17	11,97	12,51	12,39	14,14	15,43	13,27	13,60	13,19	11,64	–	–	–	12,02
	<i>Ширина, мм</i>														
1	0,94	1,04	1,07	1,11	1,14	1,16	1,20	1,24	1,34	1,22	1,11	1,01	1,25	–	1,08
2	0,98	0,97	1,10	1,14	1,08	1,10	1,09	1,13	1,16	1,14	1,07	0,97	1,18	1,21	1,06
3	0,97	0,99	1,07	0,97	1,10	1,40	1,25	1,63	1,02	1,30	–	–	–	–	1,08
4	0,95	1,06	1,18	1,26	1,11	1,15	1,36	1,20	1,18	1,18	1,11	–	–	–	1,12
	<i>Толщина, мм</i>														
1	0,58	0,64	0,68	0,77	0,80	0,82	0,84	0,87	0,97	0,87	0,82	0,65	0,69	–	0,72
2	0,52	0,56	0,68	0,76	0,69	0,70	0,79	0,78	0,81	0,75	0,65	0,73	0,89	0,62	0,65
3	2,39	0,73	0,79	0,71	0,77	0,87	0,93	1,01	0,66	0,80	–	–	–	–	1,04
4	0,62	0,69	0,81	0,90	0,77	0,85	1,05	0,94	0,80	0,92	0,89	–	–	–	0,77
	<i>Площадь хвоинки, мм<sup>2</sup></i>														
1	19,49	24,38	27,13	31,26	33,04	35,13	37,14	37,30	45,69	35,84	26,52	21,37	31,78	–	28,41
2	20,11	21,85	26,38	30,92	27,04	27,11	30,13	29,50	28,32	28,50	23,60	19,43	32,83	32,52	25,57
3	20,73	22,27	25,60	21,40	28,52	37,95	30,06	49,71	26,06	36,94	–	–	–	–	26,08
4	20,27	25,59	30,97	34,86	30,21	37,16	48,66	36,31	34,77	35,29	29,91	–	–	–	29,84

Таблица 4

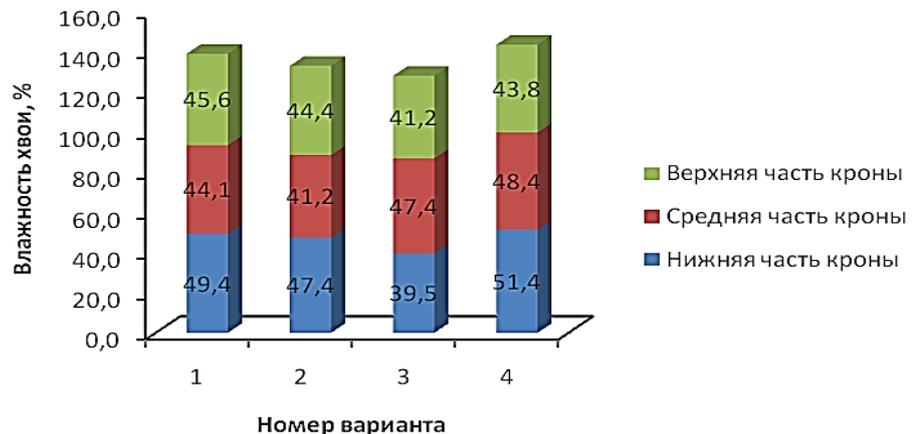
**Морфометрические показатели ассимиляционного аппарата ели  
в зависимости от варианта опыта**

Вариант опыта	Масса средней хвоинки, мг	Масса хвои на дереве, кг	Площадь хвои на дереве, м <sup>2</sup>	Индекс листовой поверхности, га/га	Протяженность кроны, м
1	5,1±0,1	5,3±0,48	48,58±1,04	15,68	6,0±0,12
2	4,6±0,1	2,6±0,26	15,15±0,50	2,53	4,7±0,07
3	4,2±0,1	2,3±0,19	14,53±0,62	2,17	3,1±0,05
4	5,4±0,2	3,8±0,33	21,95±0,91	6,47	4,5±0,11

По массе хвои на дереве можно отметить, что культуры ели, высаженные по пластам, накапливают 5,3 кг хвои, по фрезполосам – 2,4 кг. Различие средних значений данного показателя является достоверным ( $t = 5,0$  при  $t_{005} = 2,2$ ). Масса хвои в абсолютно сухом состоянии примерно в 1,7–2,2 раза меньше, чем в свежем. Согласно анализу ряда образцов, сухое вещество составляет в среднем 54,4 % от массы в свежем состоянии (53,8 % – на пластах, 56,6 % – на фрезполосах, 52,7 % – на открытом месте).

В культурах ели, высаженных между рядами культур сосны, влажность хвои наибольшая в верхней части кроны, в искусственных молодняках, произрастающих на открытом месте, этот показатель изменяется от верхней к средней части полога (см. рисунок).

Поверхность одной хвоинки в свежем состоянии у ели на пластах равняется 0,28 см<sup>2</sup>, на фрезполосах – 0,26 см<sup>2</sup>, на открытом месте – 0,26...0,30 см<sup>2</sup>. По данным К.С. Бобковой [3] в зеленомошном типе леса средней тайги она составляет 0,51 см<sup>2</sup>.



Влажность хвои в разных частях кроны

Масса хвои и площадь хвои на дереве зависит не только от площади одной хвоинки, но и от количества хвои и ветвей на дереве. Наибольшее количество ветвей наблюдается в кроне особей, высаженных по пластам. Этот показатель здесь на 15 % больше по сравнению с фрезполосами, хотя различия недостоверны ( $t = 1,35$  при  $t_{0,05} = 2,2$ ).

Каждый тип фитоценоза характеризуется определенным показателем листового индекса древесной растительности. Отмечено, что по мере продвижения на север, а также с ухудшением дренажа и увеличением избыточного увлажнения поверхность листьев снижается. Так, по данным К.С. Бобковой [3] в ельниках зеленомошной группы типов леса северной тайги листовой индекс составляет 7,1...8,3 га/га. Н.И. Кубрак, В.А. Аникеева, В.Г. Чертовской [9] указывают, что в спелом ельнике черничном Архангельской области этот показатель равен 7,5 га/га.

В изучаемых нами искусственно созданных молодняках ели индекс листовой поверхности равен 2,17...15,68 га/га, что отражает условия их произрастания.

Таким образом, установлено, что способ обработки почвы и местоположение растений оказывают влияние на формирование ассимиляционного аппарата ели. Культуры ели, высаженные по пластам, обладают наивысшими показателями по развитости ассимиляционного аппарата, что свидетельствует о лучших условиях роста в данном типе леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
2. Бабич Н.А. О точности учета надземной фитомассы культур сосны // Лесн. журн. 1989. №1. С. 112–115. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
4. Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Сенькина С.Н., Галенко Э.П., Загирова С.В. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. 176 с.
5. Гвоздухина О.А. Географические культуры ели в Архангельской области: дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2004. 149 с.
6. Дружинин Ф.Н. Лесоводственно-экологические основы восстановления ельников в производных лесах Восточно-Европейской равнины: дис. ... д-ра с.-х. наук. Вологда, 2013. 389 с.
7. Есякова О.А., Воронин В.М., Степень Р.А. Ассимиляционный аппарат ели сибирской как индикатор загрязнения городской атмосферы // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 109–112.
8. Кононюк Г.А. Сравнительная оценка состояния ассимиляционного аппарата ели в г. Архангельске и пригородной зоне // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: СОЛТИ, 2001. Вып. 4. С. 67–76.

9. Кубрак Н.И., Аникеева В.А., Чертовской В.Г. Изменение экологических условий под влиянием изменения породного состава леса // Экология таежных лесов. Архангельск: Правда Севера, 1978. С. 62–74.
10. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 425 с.
11. Ничипорович А.А. О путях повышения производительности фотосинтеза растений в посевах // Фотосинтез и вопросы повышения продуктивности растений. М.: Наука, 1963. С. 5–36.
12. Потапова С.А. Изменение длины хвои как показателя успеха адаптации интродуцированных сосен // Древесные растения в природе и культуре. М.: Лесн. пром-сть, 1983. С. 63–67.
13. Тужилкина В.В., Кузиев Е.А. Определение поверхности хвои сосны и ели в средней подзоне тайги // Биогеоэкологические исследования хвойных фитоценозов на Севере. Сыктывкар, 1983. С. 16–20.
14. Тутыгин Г.С., Поташева Ю.И. Изменение ассимиляционного аппарата ели в придорожных живых изгородях // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: Издат. центр САФУ, 2014. Вып.17. С. 187–190.
15. Уткин А.И., Дылис И.В. Изучение вертикального распределения фитомассы в лесных фитоценозах // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1996. Т. 72. № 6. С. 79–91.
16. Цельникер Ю.Л. Структура кроны ели // Лесоведение. 1994. №4. С. 35–44.
17. Цельникер Ю.Л., Корзухин М.Д., Зейде Б.Б. Морфологические и физиологические исследования кроны деревьев. М.: Мир Урании, 2000. 96 с.

Поступила 04.02.14

UDC 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.31

### **Spruce Assimilation Apparatus in Plantations at the Polytritic Cutting**

*N.R. Sungurova, Candidate of Agriculture, Associate Professor*

*V.N. Kononov, Doctor of Agriculture, Professor*

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

At an early stage of stand development we can consider the viability and potential of formation of valuable forest plants by the characteristics of development and functional state of the assimilation apparatus of trees. We studied the assimilation apparatus of the 36-year-old spruce plantations in the polytritic cutting in the Northern taiga subzone of Arkhangelsk region. The needle mass of different ages, emerging in different parts of the crown, was determined. Morphological and biometric indicators of photosynthetic apparatus were established. The average longevity of needle is 10.7 years in spruce plantations cultivated between the rows of pine crops, and 7.7 years in plantations in the open area. Moreover, the longevity of the photosynthetic apparatus in the top of a crown is 4...8, in the middle part – 9.5...10.5, at the bottom – 9.5...13.5 years, depending on the habitat. Comparing biometrics

of spruce needle, planted by different methods of cultivation, we can conclude, that the plants located on microelevations have better growth conditions in this forest type, and consequently, have the highest indicators of length, width, thickness and square of a needle. One of the important characteristics of a production phytocenoses process is a leaf-area index, which is considered as the most convenient value for comparing the productivity of ecosystems. This ratio largely determines the degree of transformation of environmental factors and photosynthetic activity of plants by the forest phytocenoses. Each type of plant community is characterized by a certain measure of the leaf-area index of woody vegetation. The size of the leaf surface decreases in process of advance to the North, deterioration of drainage and increase of excessive moistening. In the studied artificially regenerated stands of spruce the leaf-area index is 2.17...15.68 ha/ha, which indicates the properly matched technology of planting in these site conditions. The crops are provided by favorable conditions to develop and reach the indicators that are close to the Hylocomium group of the middle taiga subzone.

*Keywords:* spruce plantation, assimilation apparatus, needle, crown, leaf-area index, biometrics.

#### REFERENCES

1. Babich N.A., Klevtsov D. N., Evdokimov I. V. *Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya fitomassy kul'tur sosny* [Zonal Patterns of Change in Biomass of Pine Plantations]. Arkhangelsk, 2010. 140 p.
2. Babich H.A. O tochnosti ucheta nadzemnoy fitomassy kul'tur sosny [On the Accuracy of Aboveground Biomass Accounting of Pine Plantations]. *Lesnoy zhurnal*, 1989, no. 1, pp. 112–115.
3. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Coniferous Forests of the European North-East]. Leningrad, 1987. 156 p.
4. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Sen'kina S.N., Galenko E.P., Zagirova S.V. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Ecological and Physiological Basis of Pine Forests Productivity of the European North-East]. Syktyvkar, 1993. 176 p.
5. Gvozdukhina O.A. *Geograficheskie kul'tury eli v Arkhangel'skoy oblasti: dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Provenance Trial Plantation of Spruce in Arkhangelsk Region: Cand. Agr. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2004. 149 p.
6. Druzhinin F.N. *Lesovodstvenno-ekologicheskie osnovy vosstanovleniya el'nikov v proizvodnykh lesakh Vostochno-Evropeyskoy ravniny: dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Silvicultural and Ecological Basis of Spruce Forest Restoration in the Secondary Forest Growth of the East European Plain: Dr. Agr. Sci. Diss.]. Vologda, 2013. 389 p.
7. Esyakova O.A., Voronin V.M., Stepen' R.A. Assimilyatsionnyy apparat eli sibirskoy kak indikator zagryazneniya gorodskoy atmosfery [Assimilation Apparatus of Siberian Spruce as a Pollution Indicator of the Urban Atmosphere]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2008, vol. XXV, no. 1–2, pp. 109–112.
8. Kononyuk G.A. Sravnitel'naya otsenka sostoyaniya assimilyatsionnogo apparata eli v g. Arkhangel'ske i prigorodnoy zone [Comparative Assessment of Spruce Assimilation Apparatus in Arkhangelsk and Suburban Area]. *Ekologicheskie problemy Severa: mezhu-*

zovskiy sbornik nauchnykh trudov [Ecological Problems of the North]. Arkhangelsk, 2001, vol. 4, pp. 67–76.

9. Kubrak N.I., Anikeeva V.A., Chertovskoy V.G. Izmenenie ekologicheskikh usloviy pod vliyaniem izmeneniya porodnogo sostava lesa [Changing of Environmental Conditions Under the Influence of Changes in Species Composition of a Forest]. *Ekologiya taezhnykh lesov* [Ecology of the Taiga Forests]. Arkhangelsk, 1978, pp. 62–74.

10. Lyr H., Polster H., Fiedler H.-J. *Gehölzphysiologie*. Jena, 1967. 420 p.

11. Nichiporovich A.A. O putyakh povysheniya proizvoditel'nosti fotosinteza rasteniy v posevakh [On the Ways to Improve Productiveness of Plant Photosynthesis in Crops]. *Fotosintez i voprosy povysheniya produktivnosti rasteniy* [Photosynthesis and Improving Productivity of Plants]. Moscow, 1963, pp. 5–36.

12. Potapova S.A. Izmenenie dliny khvoi kak pokazatelya uspekha adaptatsii introducirovannykh sosen [Changing the Needle Length as a Measure of Success of the Introduced Pine Trees Adaptation]. *Drevesnye rasteniya v prirode i kul'ture* [Woody Plants in Nature and Culture]. Moscow, 1983, pp. 63–67.

13. Tuzhilkina V.V., Kuziv E.A. Opredelenie poverkhnosti khvoi sosny i eli v sredney podzone taygi [Defining the Needle Surface of Pine and Spruce in the Middle Taiga Subzone]. *Biogeotsenologicheskie issledovaniya khvoynykh fitotsenozov na Severe* [Biogeocoenological Research of Softwood Phytocenoses in the North]. Syktyvkar, 1983, pp. 16–20.

14. Tutygin G.S., Potasheva Yu.I. Izmenenie assimilyatsionnogo apparata eli v pridorozhnykh zhivykh izgorodyakh [Change of Spruce Assimilation Apparatus in the Natural Border Trees]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Environmental Problems of the Arctic and Northern Territories]. Arkhangelsk, 2014, vol. 17, pp. 187–190.

15. Utkin A.I., Dylis I.V. Izuchenie vertikal'nogo raspredeleniya fitomassy v lesnykh fitotsenozakh [The Study of the Biomass Vertical Distribution in the Forest Phytocenoses]. *Byullyuten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologii* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series], 1996, vol. 72, no. 6, pp. 79–91.

16. Tsel'niker Yu.L. Struktura krony eli [Structure of Spruce Crowns]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1994, no. 4, pp. 35–44.

17. Tsel'niker Yu.L., Korzukhin M.D., Zeyde B.B. *Morfologicheskie i fiziologicheskie issledovaniya krony derev'ev* [Morphological and Physiological Studies of Tree Crowns]. Moscow, 2000. 96 p.

Received on February 04, 2014

---

УДК 630\*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.41

## **К ВОПРОСУ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ НЕЗАКОННЫХ РУБОК В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

*С.А. Корчагов, д-р с.-х. наук, проф.*

*И.Н. Лупанова, асп.*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,  
ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;  
e-mail: kors45@yandex.ru, inna-lupanova@yandex.ru

Незаконная рубка древесины – одна из острых проблем лесного сектора России. На долю незаконных рубок приходится от 10 до 35 % всех лесозаготовок в стране. По мнению ряда экспертов, нелегальный оборот древесины в России достигает 20 млн м<sup>3</sup>/год. Проблема незаконных рубок остается нерешенной и для Вологодской области. В 2010 г. размер ущерба, причиненного незаконными рубками, составил почти 190 млн р., в 2011 г. он вырос до 257 млн р., в 2013 г. – несколько снизился и достиг 158 млн р. В апреле 2013 г. на заседании Президиума Государственного Совета РФ обсуждались проблемы повышения эффективности работы лесного комплекса, в том числе и вопрос борьбы с нелегальными рубками леса. В своей речи президент России В.В. Путин подчеркнул необходимость принятия более жестких мер для наказания тех, кто осуществляет нелегальные рубки. В ответ на предложения президента в 2014 г. в Уголовный кодекс РФ были внесены соответствующие изменения, ужесточающие меру наказания за ущерб, причиненный нелегальными рубками леса. Наряду с ужесточением наказания за нелегальные рубки, безотлагательного рассмотрения требует вопрос обеспечения кадрами для осуществления лесной охраны. К настоящему времени численность сотрудников лесной охраны в России уменьшилась с 79 до 17 тыс. чел. В среднем по России на одного работника лесничества приходится около 55 тыс. га леса, в многолесных районах – более 300 тыс. га. Проблема нехватки кадров для осуществления лесной охраны остро стоит и в Вологодской области. Во всех государственных лесничествах области (за исключением Вологодского, Усть-Кубинского и Чагодощенского лесничеств) наблюдается недостаток численности лиц, осуществляющих государственную лесную охрану. В целом по региону недостаток лесных инспекторов составляет 317 чел., или 48 % от нормативного показателя. Таким образом, леса Вологодской области в настоящее время остаются неохраняемой в необходимом объеме территорией. Без обеспечения эффективной охраны лесов невозможно решение важных и актуальных проблем региона.

*Ключевые слова:* незаконная рубка древесины, лесное законодательство, государственная лесная охрана, государственное лесничество.

Одна из самых острых проблем для российского лесного сектора – незаконные рубки. По различным данным на них приходится от 10 до 35 % всех лесозаготовок в стране. В отдельных регионах России до 50 % заготавливаемой древесины имеет либо нелегальное, либо сомнительное, не подтвержденное официальными документами, происхождение.

По данным Рослесхоза объемы незаконных рубок в России в 2011 г. составили 1,8 млн м<sup>3</sup>, в 2012 г. из 191 млн м<sup>3</sup> древесины 19,0 млн м<sup>3</sup> были заготовлены нелегально. Однако экспертные оценки свидетельствуют, что нелегальный оборот древесины в России значительно больше и составляет свыше 20,0 млн м<sup>3</sup>/год.

Незаконные рубки, уничтожение или повреждение лесных насаждений, создают предпосылки для угрозы экологической безопасности в масштабах государства. Полностью восстановить лесной фонд, утраченный в результате незаконных рубок, практически невозможно. Помимо того, что это требует от 40 до 120 лет, оно влечет за собой большие материальные затраты.

11 апреля 2013 г. в Улан-Удэ состоялось заседание Президиума Госсовета РФ, где обсуждались вопросы повышения эффективности работы лесного комплекса. В своей речи президент России В.В. Путин отметил: «Лес нужно спасать и от незаконных вырубок. В последние 5 лет они увеличились на 66 %, их объемы по-прежнему колоссальные, при этом со сбытом краденого вообще никаких проблем не существует... Прежде всего, надо наладить систему точного мониторинга и определить более жесткие меры наказания для тех, кто варварски истребляет лес. Для справки могу сказать, что в 2012 г. к уголовной и административной ответственности за незаконные рубки привлечено более 7 тыс. чел. Ущерб составил около 10 млрд р. Возмещено только 2 %».

Проблема незаконных рубок леса актуальна как для лесных регионов России в целом, так и для лесного сектора Вологодской области. В настоящее время практически не представляется возможным выявить районы с абсолютным отсутствием нелегальных заготовок древесины. Этот факт подтверждается результатами проводимой авторами оценки риска районов заготовки и поставки лесобумажной продукции в условиях региона.

В 2010 г. размер ущерба, причиненного Вологодской области незаконными рубками, составлял почти 190 млн р., в 2011 г. он вырос до 257 млн, в 2013 г. несколько снизился и достиг 158 млн р. В 2012 г. (по отношению к 2011 г.) число выявленных нарушений лесного законодательства уменьшилось в 0,8 раза и осталось на таком уровне в 2013 г. Случаи нелегальной заготовки древесины не исключаются и на территории существующей сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Вологодской области, общая площадь которых достигает 902,8 тыс. га (по данным на конец 2012 г.) [1].

В областном правительстве отмечают, что незаконные рубки не только причиняют материальный ущерб экономике региона, но и создают предпосылки для угрозы экологической безопасности в масштабах государства. Глава региона Олег Кувшинников высказал мнение, что значительное количество незаконных рубок связано с отсутствием реального наказания за совершенные преступления.

Закон, принятый депутатами Государственной думы РФ [4], вносит изменения в ст. 260 и 261 Уголовного кодекса РФ [6] и предусматривает усиление уголовной ответственности за счет увеличения штрафов, а также сроков наказания в виде лишения свободы. Также закон дополнил Уголовный кодекс РФ

статьей, предусматривающей ответственность за приобретение, хранение, перевозку, переработку в целях сбыта или сбыт заведомо незаконно заготовленной древесины, совершенные в крупном размере, группой лиц по предварительному сговору, в особо крупном размере или организованной группой либо лицом с использованием своего служебного положения. Введенные поправки к Уголовному кодексу РФ, по мнению экспертов, позволят снизить экономическую привлекательность противоправных деяний, а также обеспечить возмещение вреда, причиненного такими преступлениями.

Наряду с ужесточением наказания, в контексте решения проблемы нелегальной заготовки древесины, на наш взгляд, безотлагательного рассмотрения требует вопрос обеспечения кадрами для осуществления лесной охраны.

Внесение изменений в действующий ранее Лесной кодекс РФ (2004–2005 гг.) и принятие нового Лесного кодекса РФ (2006 г.) привели к тому, что классическая государственная лесная охрана, основанная на системе лесных обходов, исчезла. В декабре 2010 г. в Лесной кодекс РФ внесены изменения, которые восстановили лесную охрану «на бумаге» – путем возложения соответствующих обязанностей на лиц, исполняющих иные обязанности и не обладающих для охраны лесов ни временем, ни необходимыми ресурсами [2].

К настоящему времени численность сотрудников лесной охраны в России уменьшилась от 79 до 17 тыс. чел., численность работников лесничеств – со 160 до 32 тыс. чел. В среднем по России на одного работника лесничества теперь приходится около 55 тыс. га леса, в многолесных районах – более 300 тыс. га. Кроме того, не в полной мере сформулирована законодательная база, определяющая государственный статус, социальные гарантии сотрудников лесной охраны. При таком объеме работ и статусе работника обеспечить должную охрану лесов невозможно.

В соответствии со ст. 96 Лесного кодекса РФ [3] Министерством природных ресурсов и экологии РФ приказом № 21 от 21 января 2014 г. [5] утверждены нормативы патрулирования лесов должностными лицами, осуществляющими федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану). Для Вологодской области этот норматив должен составлять не более 19 тыс. га на одного государственного лесного инспектора.

В таблице приведены сведения о численности должностных лиц, осуществляющих федеральный государственный лесной надзор в лесном комплексе Вологодской области.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что во всех государственных лесничествах области, за исключением Вологодского, Усть-Кубинского и Чагодощенского, наблюдается недостаток лиц, осуществляющих государственную лесную охрану. Особенно остро проблема стоит в Бабаевском, Бабушкинском, Вытегорском, Кич-Городецком, Никольском и Тотемском лесничествах. В целом по Вологодской области недостаток лесных инспекторов составляет 317 чел., или 48 % от нормативного показателя.

**Нормативная и фактическая численность должностных лиц  
государственной лесной охраны в Вологодской области (на 31.03.2014 г.)**

Лесничество	Общая площадь лесничества, га	Численность должностных лиц государственной лесной охраны в лесничестве, чел.		Разница, чел.
		нормативная	фактическая	
Бабаевское	835 578	44	14	-30
Бабушкинское	691 366	36	10	-26
Белозерское	452 463	24	9	-15
Вашкинское	247 167	13	8	-5
Великоустюгское	637 805	34	15	-19
Верховажское	366 213	19	11	-8
Вожегодское	501 442	26	10	-16
Вологодское	225 129	12	13	+1
Вытегорское	1 219 143	64	14	-50
Грязовецкое	381 770	20	10	-10
Кадуйское	257 466	14	10	-4
Кирилловское	350 838	18	12	-6
К-Городецкое	606 129	32	12	-20
Междуреченское	304 815	16	10	-6
Никольское	644 844	34	13	-21
Нюксенское	461 342	24	10	-14
Сокольское	294 988	16	11	-5
Сямженское	327 564	17	10	-7
Тарногское	437 656	23	14	-9
Тотемское	736 192	39	13	-26
Усть-Кубинское	168 402	9	10	+1
Устюженское	273 058	14	10	-4
Харовское	281 715	15	13	-2
Чагодощенское	200 839	11	11	0
Череповецкое	428 923	23	10	-13
Шекснинское	142 856	8	5	-3
<i>Итого</i>	11 475 703	605	288	-317

Таким образом, фактически леса Вологодчины, за исключением отдельных лесничеств, до сих пор остаются неохранными в необходимом объеме территории. Это послужило одной из главных причин сложившейся ситуации с незаконными рубками леса. Без обеспечения эффективной охраны лесов невозможно решение этой важной и актуальной проблемы в регионе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Вологодской области в 2012 г. / Правительство Вологодской области, Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области. Вологда, 2013. 260 с.

2. Корчагов С.А., Конюшатов О.А. Нормативно-правовая база для интенсивного лесного хозяйства на федеральном и региональном уровне (на примере Вологодской области) // Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития: сб. ст. / Под общей ред. Н. Шматкова. М.: WWF России, 2013. С. 45–83.

3. Лесной кодекс РФ: ФЗ № 200 от 04.12.2006: [принят Государственной Думой РФ 08 ноября 2006 г.].

4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ: ФЗ № 277 от 21 июля 2014 г.: [принят Государственной Думой РФ 4 июля 2014 г.].

5. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды России) № 21 от 21 января 2014 г. «Об утверждении Нормативов патрулирования лесов должностными лицами, осуществляющими федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану)».

6. Уголовный кодекс РФ: ФЗ № 63 от 13.06.96: [принят Государственной Думой РФ 24 мая 1996 г.].

Поступила 29.10.14

UDC 630\*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.41

### **Revisiting Protection of Forests from Illegal Felling in Vologda Region**

*S.A. Korchagov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*I.N. Lupanova, Postgraduate Student*

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Pankratov str., 9, Bl. 7,

Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation;

e-mail: kors45@yandex.ru, inna-lupanova@yandex.ru

Illegal felling of timber is one of the acute problems of the Russian forest sector. The share of illegal logging accounts for 10...35 % of all logging in the country. According to some experts, the illegal timber trade in Russia reaches 20 million m<sup>3</sup> per year. The problem of illegal logging remains unresolved in Vologda region. In 2010 the cost of illegal felling damage amounted to nearly 190 million rubles, in 2011 it increased up to 257 million rubles, in 2013 it decreased slightly and reached 158 million rubles. In April 2013, at the meeting of the Presidium of the State Council of the Russian Federation the efficiency problems of the forest complex, including the issue of illegal logging, were discussed. The President V.V. Putin in his speech stressed the need to adopt strict measures designed to punish for illegal felling. In response to the President's proposals the reasonable changes, toughening penalties for the damage caused by illegal logging, were amended in the Russian Criminal Code in 2014. The issue of human resources for the forest protection requires urgent consideration. To date, the number of forest protection employees in Russia decreased from 79 to 17 thousand people. On average in Russia on a forestry worker accounts for about 55 thousand hectares of forest, and in the well-forested areas – more than 300 thousand hectares. The problem of shortage of personnel in the forest protection activity is acute in Vologda region. All state forest divisions (except the Vologda, Ust-Cuban and Chagoda forestries)

experience a staff shortage carrying out the state forest protection. Across the region, the lack of the forest inspectors is 317, that is 48 % of the standard ratio. Thus, the forests of Vologda region currently are the unguarded territory to the extent required. Solution of important and urgent problems of the region is impossible without the effective protection of forests.

*Keywords:* illegal felling, forest legislation, state forest service, state forestry.

#### REFERENCES

1. Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Vologodskoy oblasti v 2012 g. [Environmental and Nature Conservation Report of Vologda Region in 2012]. *Pravitel'stvo Vologodskoy oblasti, Departament prirodnikh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Vologodskoy oblasti* [The Government of Vologda Region, the Department of Natural Resources and Environmental Protection of Vologda Region]. Vologda, 2013. 260 p.

2. Korchagov S.A., Konyushatov O.A. Normativno-pravovaya baza dlya intensivnogo lesnogo khozyaystva na federal'nom i regional'nom urovne (na primere Vologodskoy oblasti) [The Legal Framework for the Intensive Forestry on the Federal and Regional Levels (Evidence from Vologda Region)]. *Intensivnoe ustoychivoe lesnoe khozyaystvo: bar'ery i perspektivy razvitiya* [Intensive Sustainable Forestry: Barriers and Development Prospects]. Ed. by Shmatkov N. Moscow, 2013, pp. 45–83.

3. *Lesnoy kodeks RF: FZ № 200 ot 04.12.2006: prinyat Gosudarstvennoy Dumoy RF 08 noyabrya 2006 g.* [Forest Code of the Russian Federation: the Federal Law no. 200 Dated 04.12.2006. Adopted by the State Duma of the Russian Federation on November 08, 2006].

4. *O vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty RF: FZ № 277 ot 21 iyulya 2014 g.: prinyat Gosudarstvennoy Dumoy RF 4 iyulya 2014 g.* [On Amendments in the Certain Legislative Acts of the Russian Federation: the Federal Law no. 277 Dated July 21, 2014: Adopted by the State Duma of the Russian Federation on July 4, 2014].

5. *Prikaz Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii RF (Minprirody Rossii) № 21 ot 21 yanvarya 2014 g. "Ob utverzhdenii Normativov patrulirovaniya lesov dolzhnostnymi litsami, osushchestvlyayushchimi federal'nyy gosudarstvennyy lesnoy nadzor (lesnyuyu okhranu)"* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Russian Ministry of Natural Resources) no. 21 Dated January 21, 2014 "On Approval of the Standards of Forest Patrol by the Officials of the Federal State Forest Control (Forest Protection)"].

6. *Ugolovnyy kodeks RF: FZ № 63 ot 13.06.96: prinyat Gosudarstvennoy Dumoy RF 24 maya 1996 g.* [The Criminal Code of the Russian Federation: the Federal Law no. 63 of 13 June 1996: Adopted by the State Duma of the Russian Federation on May 24, 1996].

Received on October 29, 2014

УДК 630\*231.1:630\*451.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.47

## ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЕЛИ ПОД ПОЛОГОМ БЕРЕЗНЯКОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ РУССКОЙ РАВНИНЫ

*А.А. Дерюгин, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.*

*М.В. Рубцов, д-р с.-х. наук, проф.*

Институт лесоведения Российской академии наук, ул. Советская, д. 21,  
п/о Успенское, Московская обл., Россия, 143030; e-mail: da45@mail.ru

По результатам стационарных исследований дан анализ состояния подпологовой популяции ели в связи со стадиями возрастного развития южно-таежных березняков центральной части Русской равнины. Березняки кислично-черничные, высокополнотные, возраст – 37...105 лет. По мере прохождения березняками стадий возрастного развития состояние популяции ели ухудшается – увеличивается доля ослабленных и поврежденных деревьев. Представленность ослабленных деревьев ели в популяции изменяется от 29 до 83 %. Повреждаемость деревьев в результате воздействия разных факторов изменяется от 18 до 36%. В 95-летних березняках доля таких деревьев достигает 32 %. Выявлено три вида повреждений деревьев ели: дефолиация крон более 50 %, слом стволов, повреждения коры стволов. Представленность деревьев ели с двумя первыми видами повреждений в исследуемых березняках варьирует в ограниченном диапазоне (5,8...8,1 %). Отпад таких деревьев не может существенно повлиять на процесс формирования ельников. Серьезные последствия для популяции ели имеют повреждения коры на стволах – обдиры и погрызы коры лосем. Повреждаемость деревьев ели во втором ярусе в среднем составляет 33 %, достигая максимума (47 %) в 95-летних березняках. Раны часто не заживают в течение 30 лет, древесина поражается энтомофитными грибами, деревья подвергаются ветролому. Одна из причин ухудшения состояния ели – возникновение комлевой гнили. Доля таких деревьев в первом и втором ярусах древостоев изменяется от 6 до 17 %. Наибольшее количество пораженных комлевой гнилью деревьев (0,14 тыс. шт./га) наблюдается в березняках, находящихся в стадии слабого изреживания и роста (возраст 100 лет). К возрасту естественной спелости березы в популяции ели может сохраниться около 0,40 тыс. шт./га деревьев первого и второго ярусов, из которых только 160 можно отнести к нормальным. За период, соответствующий возрасту естественной спелости березняков (120 лет), из подпологовой популяции ели могут сформироваться низкополнотные еловые древостои IV класса бонитета.

*Ключевые слова:* центральная часть Русской равнины, южная тайга, березняки кислично-черничные, подпологовая популяция ели, состояние, повреждения, динамика.

В подзоне южной тайги европейской части России распространены березняки, образовавшиеся после сплошной рубки высокопроизводительных ельников. В лесном фонде подзоны они занимают около 40 % земель, покрытых лесной растительностью. Под пологом таких насаждений восстанавливается популяция ели. Ее восстановительно-возрастная динамика связана с возрастным развитием (онтоценогенезом) производных березняков. Результативность

данного процесса зависит не только от количественных, но и качественных характеристик популяции ели. В настоящее время динамика состояния подпологовой популяции ели в березняках при спонтанном их развитии не нашла должного отображения в лесоводственной литературе.

Цель исследований – по данным стационарных наблюдений на постоянных пробных площадях изучить динамику состояния и выявить типичные повреждения особей популяции ели в связи со стадиями возрастного развития березняков.

#### *Объекты и методика*

Стационарные исследования проводили в подзоне южной тайги на Северной ЛОС Института лесоведения РАН (Ярославская обл.). Объекты исследований – березняки кислично-черничной группы типов леса с елью в подросте и во втором ярусе древостоя. По материалам обследования таксационных выделов в лесничествах были подобраны типичные насаждения березы. В них в 1993 – 2000 гг. заложено 13 постоянных пробных площадей (ПП). Критерий подбора березняков разного возраста – типологическая однородность насаждений. Возраст березняков изменялся от 37 до 105 лет. На ПП проведены нумерация, картирование и сплошной пересчет деревьев с определением параметров ствола и кроны, возраста и принадлежности к ярусу древостоя.

Методика исследований и принятые подходы по группировке пробных площадей в связи со стадиями возрастного развития березняков и периодами возобновления ели (разница между возрастом березы и возрастом ели) подробно изложены в ранее опубликованных работах [2, 3]. Отметим, что в процессе мониторинга описывали и измеряли параметры повреждений деревьев ели (обдиры коры, сломы стволов и центральных побегов, дефолиация крон, деформация стволов), визуально устанавливали состояние каждой особи: нормальное, ослабленное и погибшее. Основные критерии оценки состояния деревьев ели: форма и степень охвоения кроны, отношение прироста центрального побега к среднему приросту боковых побегов за последние 5 лет. К ослабленным относили особи с зонтикообразной или односторонней кроной и степенью ее охвоения менее 50 %, а также наклоненные деревья.

Для установления наличия комлевой гнили у 532 деревьев ели разных возрастов были взяты керны на высоте 0,3 м от поверхности почвы. Распространение гнили и последствия повреждения стволов лосем были изучены на 99 модельных деревьях, взятых для изучения хода роста ели под пологом 80-летних березняков. Исследования проводили в березняках, находящихся в трех стадиях возрастного развития при раннем возобновлении ели и одной стадии при позднем ее возобновлении (табл. 1, где в обозначении группы березняков подстрочно даны возраст березы в конце определенного десятилетия и ранний (РВ) или поздний (ПВ) периоды возобновления ели под пологом березняков; это же использовано в табл. 2, 3 и на рис. 1). Древостои высокоплотные (0,8 ... 0,9) и высокопроизводительные (класс бонитета – Ia...I), типичные для кислично-черничной группы типов леса.

Таблица 1

## Таксационная характеристика древостоев в выделенных группах березняков

Ярус	Состав, %	Количество деревьев, тыс. шт./га	Средние			Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Запас стволовой древесины, м <sup>3</sup> /га
			возраст, лет	высота, м	диаметр, см		
<i>Группа Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub>*</i>							
1	84Б16Ос	1,12	47	22,2	17,9	25,39	255
2	52Е48Б	1,08	40	8,8	7,2	4,43	23
Под-рост	97Е3Б	3,00	27	2,1	–	–	–
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>**</i>							
1	98Б2Ос	0,66	74	27,4	22,6	26,36	321
2	94Е6Б	1,11	56	10,0	9,9	8,37	47
Под-рост	100Е	2,42	35	2,5	–	–	–
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub>***</i>							
1	84Б16Ос	0,58	75	27,9	25,6	29,6	367
2	76Е24Б	1,75	78	28,1	38,9	14,16	88
Под-рост	100Е	0,79	53	3,6	–	–	–
<i>Группа Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub>****</i>							
1	90Б5Ос5Е	0,36	93	27,9	30,3	23,86	312
2	98Е2Б	0,78	81	13,8	13,9	11,53	84
Под-рост	100Е	1,22	15	0,4	–	–	–

\*Березняки в последнем десятилетии стадии интенсивного изреживания и роста (41...50 лет), период возобновления ели до 20 лет.

\*\*Березняки в последнем десятилетии стадии снижения темпов изреживания и роста (71...80 лет), период возобновления ели до 20 лет.

\*\*\*Березняки в последнем десятилетии стадии снижения темпов изреживания и роста (71...80 лет), период возобновления ели более 30 лет.

\*\*\*\*Березняки во втором 10-летию стадии слабого изреживания и роста (91...100 лет), период возобновления ели до 20 лет.

*Результаты и обсуждение*

Березняки в процессе формирования проходят определенные стадии возрастного развития. С этими стадиями связана структура (возрастная, вертикальная) и состояние формирующейся под пологом березняков популяции ели.

При раннем возобновлении максимальной густоты популяция ели достигает в конце стадии «интенсивное изреживание и рост» (Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub>), доминируют (83 %) деревья подроста. В популяции преобладают нормальные деревья, их доля среди особей второго яруса достигает 95 %, подроста – 66 % (табл. 2).

Таблица 2

## Состояние деревьев ели по результатам визуальной оценки

Ярус	Количество деревьев				
	Всего, тыс. шт./га	В том числе по состоянию			
		нормальные		ослабленные	
	тыс. шт./га	%	тыс. шт./га	%	
<i>Группа Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
2	0,59	0,56	95	0,03	5
Подрост	2,91	1,93	66	0,98	34
<i>Итого</i>	3,50	2,49	71	1,01	29
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
2	1,44	0,62	43	0,82	57
Подрост	0,79	0,01	1	0,78	99
<i>Итого</i>	2,23	0,63	28	1,60	72
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub></i>					
2	1,07	0,91	85	0,16	15
Подрост	2,42	0,50	21	1,92	79
<i>Итого</i>	3,49	1,41	41	2,08	60
<i>Группа Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
1	0,02	0,02	100	–	–
2	0,76	0,30	39	0,46	61
Подрост	1,22	0,02	2	1,20	98
<i>Итого</i>	2,00	0,34	17	1,66	83

Это наблюдается во всех возрастных и высотных группах деревьев (рис. 1). Характерно отсутствие ослабленных деревьев в группах с наибольшими значениями возраста и высоты.

В таких березняках дифференциация деревьев ели не завершена. Наличие же в левых частях распределений (по возрасту – менее 40 лет, по высоте – менее 4,0 м) значительного количества нормальных деревьев (около 2,0 тыс. шт./га, или почти 60 % численности популяции) свидетельствует о возможностях пополнения второго яруса древостоя за счет деревьев подроста. В целом состояние подпологовой популяции ели в таких березняках может характеризоваться как удовлетворительное.

Через 30 лет, в конце стадии березняка «снижение темпов изреживания и роста», при раннем возобновлении ели (Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>) структура популяции существенно изменилась, преобладают (65 %) деревья второго яруса (табл. 2). Общее состояние популяции ухудшилось. Ослабленные особи преобладают в большинстве возрастных и высотных групп деревьев (рис. 1). Нормальные особи представлены в основном деревьями второго яруса высотой более 12,0 м, на долю которых приходится около 20 % численности популяции (0,49 тыс. шт./га). В результате дифференциации деревьев, сопровождавшейся обострением внутривидовой

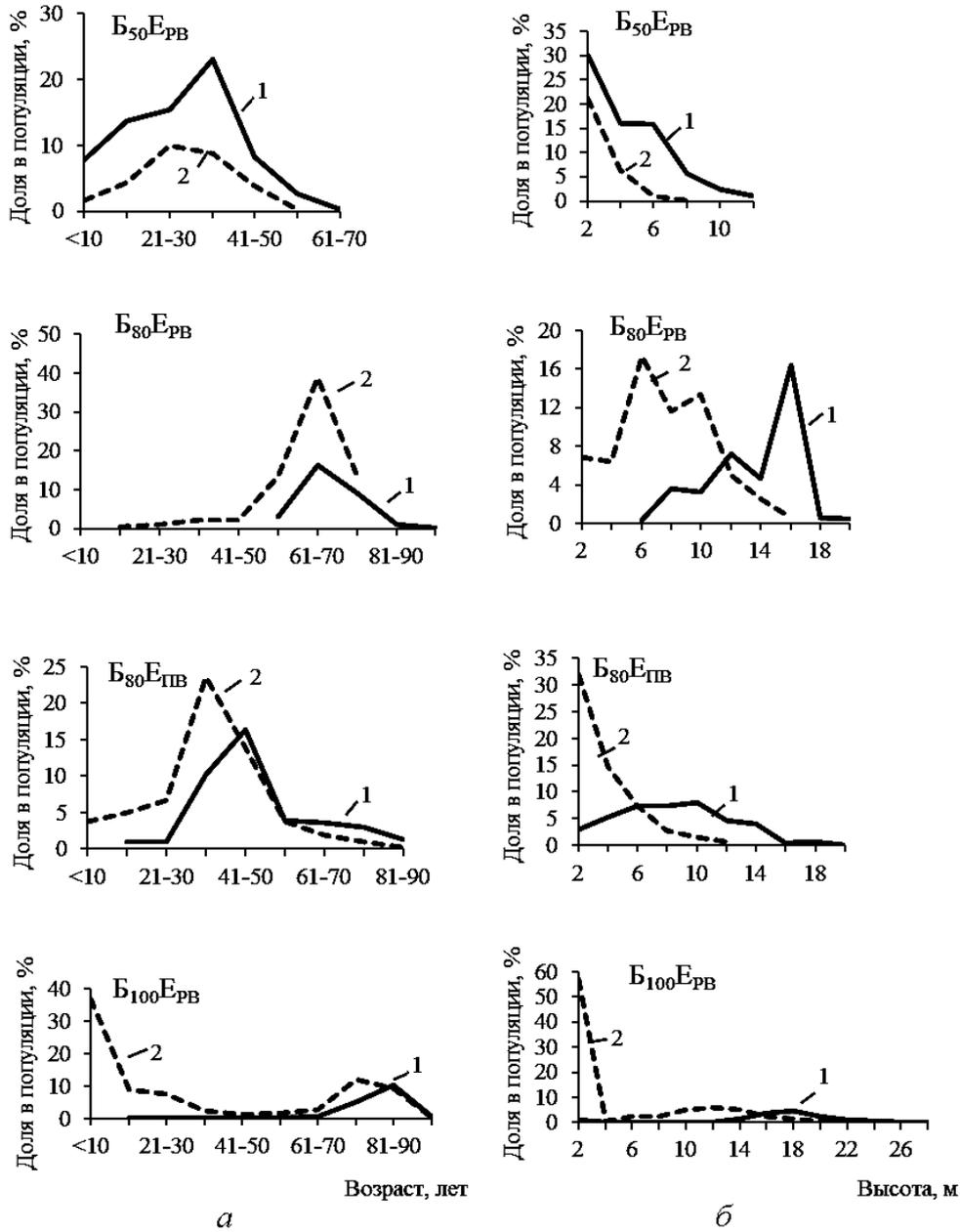


Рис. 1. Возрастное (а) и высотное (б) распределения нормальных (1) и ослабленных (2) деревьев в подполюговой популяции ели в разных стадиях возрастного развития березняков

конкуренции, состояние практически всех особей в подросте ослабленное (табл. 2). Такие деревья в ближайшей перспективе погибнут. В группе Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub> основной резерв для восстановления ели составляют деревья второго яруса, общая численность которых – 1,44 тыс. шт./га. Оценивая состояние только визуально, можно констатировать, что такого количества деревьев для формирования будущих ельников достаточно.

В березняках данной возрастной стадии в случае позднего возобновления ели (Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub>) состояние ее популяции существенно лучше. В отличие от группы Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub> здесь во втором ярусе преобладают особи, имеющие нормальные состояние (табл. 2). Общая численность таких деревьев составляет 0,91 тыс. шт./га. Пик их распределения приходится на 50 лет, что на 10 лет больше, чем у ослабленных деревьев. Среди последних преобладают особи, занимающие нижнее ( $\leq 6,0$  м) положение в пологе (рис. 1). Это преимущественно подрост, в котором на долю нормальных деревьев приходится только 21 % численности, или 0,50 тыс. шт./га (табл. 2). Состояние этой части популяции, учитывая густоту сформировавшегося к этому времени второго яруса ели, будет ухудшаться, деревья будут пополнять группу ослабленных, и в перспективе отомрут.

В стадии слабого изреживания и роста березняка (Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub>) в подпологовой популяции происходят некоторые структурные изменения по сравнению с группой березняков Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>. К концу второго 10-летия небольшая часть деревьев выходит в первый ярус древостоя березы. Густота второго яруса значительно (почти в 2 раза) снижается. В отличие от группы Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub> возрастной диапазон ослабленных деревьев отличается только на 10 лет.

Наличие нормальных деревьев в левых частях возрастного и высотного распределений объясняется появлением в подпологовой популяции новой генерации ели. Размещаясь в окнах полога, образовавшихся в результате вывала деревьев березы и ели, молодая ель в меньшей степени испытывает дефицит светового ресурса, и часть особей сохраняет нормальное состояние. По доле нормальных и ослабленных деревьев данная популяция не существенно отличается от популяции ели в Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>. Однако здесь почти в 2 раза меньше нормальных деревьев – 0,34 тыс. шт./га.

Визуальная оценка состояния дерева только по кронам и приросту не всегда позволяет адекватно определить перспективность особи. Дерево, визуально определяемое по кроне как нормальное, может иметь повреждения ствола (в частности, обдиры коры у стволов), которые могут привести к его гибели.

Доля поврежденных деревьев в популяции наименьшая в группе Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub> – 11,4 %. В группе Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub> она увеличивается почти до 17 % и достигает максимума (около 30 %) в Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub> (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение деревьев ели по видам повреждений  
(числитель – тыс. шт./га, знаменатель – % от числа растущих  
деревьев в популяции)**

Ярус	Количество поврежденных деревьев	В том числе			
		с дефолиацией крон более 50 %	со сломом ствола	с повреждением коры на стволах	
				всего	из них лосем
<i>Группа Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
2	0,04/1,1	–	–	0,04/1,1	0,04/1,1
Подрост	0,36/10,3	0,13/3,8	0,14/4,3	0,09/2,6	0,04/1,3
<i>Итого</i>	0,40/11,4	0,13/3,8	0,14/4,3	0,13/3,7	0,08/2,4
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
2	0,63/27,9	0,03/1,4	0,05/1,9	0,54/24,6	0,53/24,2
Подрост	0,06/2,6	0,04/2,0	0,02/0,5	<0,01	<0,01
<i>Итого</i>	0,68/30,5	0,07/3,4	0,07/2,4	0,54/24,7	0,53/24,3
<i>Группа Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub></i>					
2	0,31/8,9	0,01/0,2	0,03/0,8	0,27/7,9	0,25/6,5
Подрост	0,27/7,8	0,13/3,7	0,09/2,7	0,05/1,4	0,03/1,0
<i>Итого</i>	0,58/16,7	0,14/3,9	0,12/3,5	0,32/9,3	0,28/7,5
<i>Группа Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub></i>					
1	0,01/0,6	–	<0,01/0,2	0,01/0,4	0,01/0,4
2	0,44/21,9	0,06/3,1	0,01/0,8	0,36/18,1	0,36/18,1
Подрост	0,06/3,0	0,04/2,2	0,01/0,5	0,01/0,4	0,01/0,4
<i>Итого</i>	0,51/25,5	0,10/5,3	0,03/1,5	0,38/18,9	0,38/18,9

В березняках, находящихся в стадии интенсивного изреживания и роста, основная часть поврежденных особей ели относится к подросту. По мере увеличения возраста березняков среди поврежденных деревьев ели существенно возрастает доля деревьев второго яруса.

В исследуемых березняках представленность деревьев ели с дефолиацией крон более 50 % и сломом стволов варьирует в ограниченном диапазоне – от 5,8 % (Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>) до 8,1 % (Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub>). Основная часть таких деревьев относится к ослабленным. Даже отпад всех деревьев с подобными повреждениями не может существенно повлиять на процесс формирования ельников.

Более серьезные и далеко идущие последствия для подпологовой популяции ели имеют повреждения коры на стволах. Их появление связано с двумя причинами. Первая – обдиры коры, вызванные повреждениями стволами упавших деревьев, вторая – погрызы и последующие обдиры коры, появление которых связано с питанием лосей. Деревья с первыми повреждениями мало распространены в изучаемых березняках. В березняках Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub> такие особи не выявлены. В березняках других стадий возрастного развития их количество не превышает 0,04 тыс. шт./га, их доля в популяции – 1,8 % (табл. 3).

Для региона исследований одна из главных причин неудовлетворительного состояния популяции ели – погрызы лосем коры на стволах деревьев. Исследованиями установлено, что подобная повреждаемость деревьев ели изменяется от 2 % ( $B_{50}E_{PB}$ ) до 24 % ( $B_{80}E_{PB}$ ) (табл. 3). Повреждению в большей мере подвержены деревья второго яруса. Среди них доля особей с погрызами в  $B_{50}E_{PB}$  составляет 7 %, в  $B_{80}E_{PB}$  – 22 %,  $B_{80}E_{PB}$  – 37 %,  $B_{100}E_{PB}$  – 47 %. В целом же их доля среди деревьев второго яруса равна 33 %.

Установлено, что погрызы лосем в равной мере встречаются на нормальных (51 %) и ослабленных (49 % от числа растущих) деревьях. Распределение поврежденных особей по ступеням толщины существенно отличается от распределения деревьев, не поврежденных лосем (рис. 2).

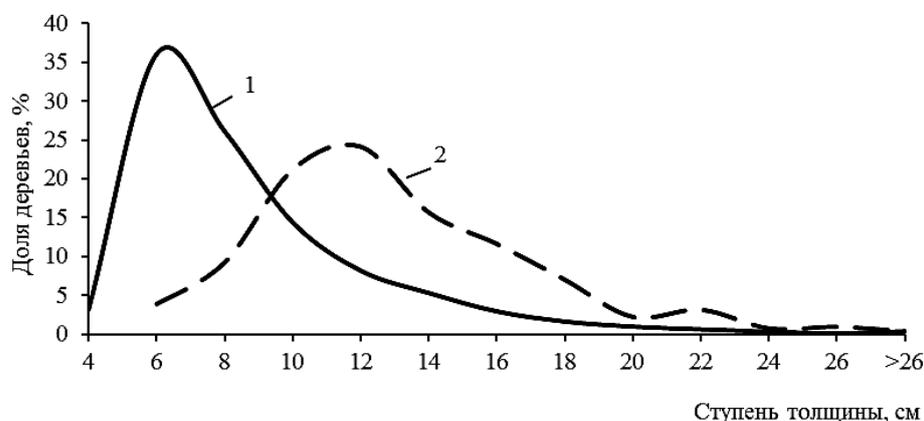


Рис. 2. Распределение по ступеням толщины растущих деревьев второго яруса, не поврежденных лосем (1) и поврежденных лосем (2)

Пик распределения поврежденных лосем деревьев приходится на 12-сантиметровую ступень, что на 6,0 см больше, чем пик распределений неповрежденных деревьев. Средняя высота последних ( $7,9 \pm 0,8$  м) существенно меньше высоты ( $12,0 \pm 1,7$  м) поврежденных деревьев. Среди них отсутствуют особи с толщиной ствола на высоте 1,3 м меньше 6,0 см. Доля деревьев с погрызами в среднем составляет 5 % среди деревьев с диаметром ствола менее 10 см, 37 % – в ступенях толщины диаметра 10...14 см, 52 % – в более высоких ступенях толщины. Таким образом, с увеличением диаметра стволов возрастает повреждаемость деревьев лосем. Полученные результаты подтверждают данные К.А. Смирнова о повреждаемости деревьев (30 %) и избирательном характере повреждений [5–7].

Степень влияния погрызов коры на состояние деревьев ели во многом зависит от размеров образовавшейся раны, главным образом от части периметра ствола, оказавшейся без коры. В качестве показателя, характеризующего такого

вида повреждения коры, нами принято отношение максимальной ширины раны к периметру ствола в месте ее измерения – относительная ширина раны.

Установлено, что среди поврежденных деревьев наиболее распространены (73 %) особи с ранами, имеющими относительную ширину в диапазоне 0,21 ... 0,36. Анализ модельных деревьев показал, что такие раны остаются открытыми даже в течение 30 лет. По истечении этого времени максимальная ширина незаросшей части раны в среднем составляет 5 см, изменяясь в диапазоне 3...12 см. Скорость зарастания таких ран в среднем составляет 2,6 мм/год, максимальная – 6,0 мм/год. В изучаемых березняках число таких деревьев в группе Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub> составляет 10 шт./га; в Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub> – 420 шт./га; Б<sub>80</sub>Е<sub>ПВ</sub> – 250 шт./га; Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub> – 230 шт./га.

В местах с незаросшими ранами древесина поражается энтомовредителями. По данным М.Д. Мерзленко, к ним относятся большой (*Urocerus digas* L.) и малый (*Sirex juvencus* F.) рогахвосты. Такие повреждения способствуют внесению спор базидиальных грибов, вызывающих гниение древесины. В последствии в местах повреждения под воздействием ветровых нагрузок стволы деревьев ломаются [1]. Согласно нашим исследованиям в березняках, находящихся в последнем 10-летию стадии снижения темпов изреживания и роста (71-80 лет) при периоде возобновления ели до 20 лет, доля деревьев ели с гнилью в местах повреждения лосем составляет 41 % от поврежденных особей, или 13 % от числа растущих деревьев второго яруса. Значительная часть деревьев ели с незаросшими в течение длительного периода ранами в перспективе перейдут в отпад.

Одна из причин ухудшения состояния подпологовой ели – возникновение комлевой гнили, появление которой не связано с повреждениями коры на стволах деревьев. Характерные возбудители такой гнили – *Phellinus pini* var. *abitis* (Karst) и *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. На пораженных деревьях плодовые тела отсутствуют и визуальное установление наличия гнили невозможно. Такие деревья преимущественно участвуют в составе первого и второго ярусов древостоя, их часто относят к категории «здоровые» [4]. Оценку степени поражения деревьев ели комлевой гнилью осуществляли по кернам. Установлено, что доля таких особей в числе деревьев ели второго яруса изменяется от 6 % (Б<sub>80</sub>Е<sub>РВ</sub>) до 17 % (Б<sub>50</sub>Е<sub>РВ</sub>). Наибольшее количество пораженных комлевой гнилью деревьев (140 шт./га) отмечено в березняках, находящихся во втором 10-летию стадии слабого изреживания и роста (Б<sub>100</sub>Е<sub>РВ</sub>).

Расчетом установлено, что к возрасту естественной спелости березняков (120 лет) под их пологом может сохраниться деревьев ели первого и второго ярусов только около 400 шт./га, из которых только 160 шт./га можно отнести к нормальным. Их средний возраст составит около 90 лет, средняя высота – 15 м. Полнота таких ельников не превысит 0,3, производительность будет соответствовать IV классу бонитета.

*Заключение*

Состояние деревьев ели в подпологовой популяции во многом связано со стадиями возрастного развития березняков. По мере их прохождения (от стадии интенсивного изреживания и роста до стадии слабого изреживания и роста) состояние деревьев ели под пологом претерпевает существенные изменения – увеличивается доля ослабленных и поврежденных в результате воздействия различных факторов деревьев.

Наряду с фитоценоотическими факторами в условиях региона исследований на состояние и сохранность деревьев подпологовой ели существенное влияние оказывают повреждения коры стволов лосем. Возникшие раны не зарастают продолжительное время и являются местом возникновения стволовой гнили, что в последующем становится причиной ветролома деревьев. Кроме этого, существенная часть деревьев первого и второго ярусов поражается комлевой гнилью.

К возрасту естественной спелости березы в подпологовой популяции ели численность деревьев первого и второго ярусов, формирующих будущий ельник, составит около 0,40 тыс. шт./га, из которых только 0,16 тыс. шт./га можно отнести к категории «нормальные». Таким образом, в условиях региона исследований за период, соответствующий возрасту естественной спелости березняков (120 лет), из подпологовой популяции не могут сформироваться высокопроизводительные ельники, соответствующие условиям местопроизрастания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерзленко М.Д. Лось и культуры ели // Лесн. хоз-во. 1974. № 3. С. 54–55.
2. Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Динамика возрастной структуры популяции ели под пологом южно-таежных березняков Русской равнины // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI, №1-2. С. 9–14.
3. Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Рост ели под пологом южно-таежных березняков и после рубки их с сохранением подроста // Лесн. журн. 2007. № 2. С. 19–27.
4. Рубцов М.В., Никитин А.П., Дерюгин А.А. Поражение гнилью ели в процессе формирования ее популяции под пологом южно-таежных березняков // Строение, свойства и качество древесины: тр. IV Междунар. симп. СПб. 2004. Т. II. С. 456 – 457.
5. Смирнов К.А. Влияние повреждений коры ели лосем на прирост и смену пород в южной тайге // Лесоведение. 1981. № 4. С. 56 – 65.
6. Смирнов К.А., Серяков А.Д. Реакция ели европейской на повреждение коры лосем в южной тайге // Лесоведение. 2005. № 2. С. 32 – 37.
7. Смирнов К.А., Серяков А.Д. Влияние избирательного повреждения коры ели лосем на экосистемы южной тайги // Лесоведение. 2009. № 4. С. 72–78.

Поступила 23.05.15

UDC 630\*231.1: 630\*451.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.47

### **Dynamics of Spruce Population Under the Canopy of Birch Forests of the Southern Taiga of the Russian Plain**

*A.A. Deryugin*, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Officer

*M.V. Rubtsov*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences,

Sovetskaya str., 21, Uspenskoe, Moscow Region, 143030, Russian Federation;

e-mail: da45@mail.ru

Based on the stationary studies we analyzed the subordinate spruce population in relation to the age development stages of birch forests in the southern taiga of the Russian Plain. The sorrel-blueberry birch forests at the age of 37... 105 years were observed. Through the age development stages of birch forests the state of the spruce population degrades, the share of weakened and damaged trees increases from 29 ... 83 %. The tree damage rate in dependence to different factors varies from 18 ... 36 %. In the 95-year-old birch forests the share of such trees reaches 32 %. We revealed three types of spruce damage: defoliating of crowns more than 50 %, scrapping trunks, trunks bark damage. Spruce representation of the first two types of damage in the monitored birch forests varies within a limited range (5.8 ... 8.1 %). The loss of such trees cannot significantly affect the formation process of spruce forests. Serious consequences for the spruce population can be caused by bark peeling damage by moose. Spruce damageability in the second layer in the average is 33 %, reaching a maximum (47 %) in the 95-year-old birch forests. Wounds often do not heal for 30 years, harmful insects and rots damage the wood; trees are exposed to a windbreak. One of the reasons for the deterioration of spruce is a butt rot. The share of such trees in the first and second layers of a stand varies from 6 to 17 %. The greatest number of the trees damaged by a butt rot (0.14 thousand pcs / Ha) is observed in the birch forests in the stage of weak thinning and growth (at the age of 100 years). By the age of birch natural maturity about 0.40 thousand pcs / Ha of trees of the first and second layers can survive in a spruce population, while only 160 can be considered as normal. Within the period of birch natural maturity (120 years) the subordinate spruce population can develop into the low-density spruce stands of the IV locality class.

*Keywords:* central part of the Russian Plain, southern taiga, sorrel-blueberry birch forest, subordinate spruce population, state, damage, dynamics.

#### REFERENCES

1. Merzlenko M.D. Los' i kul'tury eli [Moose and Spruce Plantations]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1974, no. 3, pp. 54–55.
2. Rubtsov M.V., Deryugin A.A. Dinamika vozrastnoy struktury populyatsii eli pod pologom yuzhno-taezhnykh bereznyakov Russkoy ravniny [The Dynamics of the Age Structure of Spruce Population Under the Canopy of the Southern Taiga Birch Forests of the Russian Plain]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2013, vol. XXXI, no. 1–2, pp. 9–14.

3. Rubtsov M.V., Deryugin A.A. Rost eli pod pologom yuzhno-taezhnykh bereznyakov i posle rubki ikh s sokhraneniem podrosta [Spruce Growth Under the Canopy of the Southern Taiga Birch Forests and After Their Cutting in the Condition of the Undergrowth Conservation]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 2, pp. 19–27.

4. Rubtsov M.V., Nikitin A.P., Deryugin A.A. Porazhenie gnilyu eli v protsesse formirovaniya ee populyatsii pod pologom yuzhno-taezhnykh bereznyakov [Rot Damage of Spruce in the Formation of Its Population Under the Canopy of the Southern Taiga Birch Forests]. *Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny* [The Structure, Properties and Wood Quality]. Saint Petersburg, 2004, vol. II, pp. 456–457.

5. Smirnov K.A. Vliyanie povrezhdeniy kory eli losem na prirost i smenu porod v yuzhnoy tayge [The Influence of Spruce Bark Peeling Damage by Moose on the Growth and Change of Wood Species in the Southern Taiga]. *Lesovedenie*, 1981, no. 4, pp. 56–65.

6. Smirnov K.A., Seryakov A.D. Reaktsiya eli evropeyskoy na povrezhdenie kory losem v yuzhnoy tayge [The Reaction of the European Spruce on Bark Peeling Damage by Moose in the Southern Taiga]. *Lesovedenie*, 2005, no. 2, pp. 32–37.

7. Smirnov K.A., Seryakov A.D. Vliyanie izbiratel'nogo povrezhdeniya kory eli losem na ekosistemy yuzhnoy taygi [The Effect of Selective Spruce Bark Peeling Damage by Moose on the Ecosystem of the Southern Taiga]. *Lesovedenie*, 2009, no. 4, pp. 72–78.

Received on May 23, 2015

УДК 632:631.963 (470.11)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.59

## АФИЛЛОФОРОВЫЕ ГРИБЫ В ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

**О.Н. Ежов, канд. биол. наук, доц.**

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 23,  
г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: olegezhik@gmail.com

Городские насаждения представляют собой своеобразные экосистемы, где интродуцированные виды сочетаются с аборигенными, факторы естественной природы – со специфическими элементами городской среды. Одной из групп болезней здесь являются гнили стволов, ветвей, вызываемые дереворазрушающими грибами-ксилотрофами, в первую очередь – афиллофоровыми. Цель работы – выявить видовое разнообразие афиллофоровых грибов на древесных породах в зеленых насаждениях, провести эколого-трофический и географический анализ в сравнении с лесными насаждениями и показать ряд существенных различий между ними. Объектами исследований были зеленые насаждения городов Архангельской области (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Шенкурск, Вельск, Коряжма) и объекты специального назначения (дендросад Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства, дендрарий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова). Материал был собран в летний период при проведении мониторинга состояния зеленых насаждений. Идентификацию материала осуществляли с помощью отечественных и зарубежных определителей. Собранная коллекция хранится в гербарии Института экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук. Видовое разнообразие афиллофоровых грибов в городских насаждениях значительно беднее, чем в лесных экосистемах. Только здесь на интродуцентах отмечены *Athelia fibulata*, *Dentipellis fragilis*, *Hyphoderma cremealbum*, *Hyphodontia verruculosa*, *Vuilleminia comedens*, остальные виды встречаются и в лесных экосистемах. Наибольшее число видов отмечено на аборигенных древесных породах. На живых деревьях выявлены – *Oxyporus populinus*, *Phellinus populicola*, *Ph. tremulae*. Зараженность видом *Oxyporus populinus* вязов, кленов, лип и тополей может достигать 17 % и более. Одновременно на живых и мертвых стволах отмечены: *Creolophus cirrhatus*, *Fomitopsis pinicola*, *Inonotus obliquus*, *Hericium coralloides*, *Piptoporus pseudobetulinus*, *Phellinus conchatus*, *Ph. igniarius*, *Ph. nigricans*, *Polyporus squamosus*. Плодовые тела выявлены в местах механических повреждений, дуплах, у основания толстых, старых отмирающих и мертвых сучьев. В рассмотренных насаждениях больший процент плодовых тел одновременно присутствует на сухостойной и валежной древесине, что свидетельствует о более быстром ослаблении деревьев, меньшей устойчивости и отсутствии санитарных мероприятий. Здесь преобладают виды, широко распространенные на Земле (мультирегиональные, мультizonальные). По возрастной структуре преобладают однолетние и однолетние зимующие виды. Грибы, вызывающие белую гниль, составляют 91,9 %, что связано с большей представленностью лиственных пород. В зеленых насаждениях происходит замена гигрофильных видов на ксерофильные, при стабильности доли участия мезофильных видов преобладают виды с мономитической гифальной системой. Полученные данные расширяют

представления о видовом разнообразии афиллофоровых грибов в насаждениях Архангельской области. Микобиота городских насаждений имеет специфические черты, существенно отличающиеся от лесных насаждений региона. Бóльшая представленность видов была на аборигенных породах, что отмечено одновременно на сухостойной и валежной древесине в антропогенно нарушенных экосистемах. Полученные данные можно использовать для планирования санитарных мероприятий в зеленых насаждениях и их мониторинга.

*Ключевые слова:* интродуцированные и аборигенные деревья и кустарники, афиллофоровые грибы, экологический и трофический анализ, географические связи.

Городские насаждения представляют собой своеобразные экосистемы. В них переплетаются элементы открытого и закрытого ландшафтов, природных и культурных биоценозов, различных физико-географических зон, измененных условиями города. Интродуцированные виды здесь сочетаются с аборигенными, факторы естественной природы – со специфическими элементами городской среды. Такие насаждения, обладающие низкой экологической надежностью, нуждаются в регулярной поддержке со стороны человека.

Зеленые насаждения городов представлены аллеями, парками, скверами, рядовыми посадками и объектами специального назначения (дендросад, дендрарий). Они находятся под влиянием разнообразных негативных факторов (сильно урбанизированная почва, нестабильный температурный режим, плохая аэрация, пыль, наличие дымов и газов, постоянный недостаток или избыток влаги и элементов питания, вандализм, механические повреждения). Насаждения ослаблены, более подвержены появлению на них вредителей и возбудителей болезней. Все это приводит к снижению долговечности, потере декоративности, преждевременной гибели деревьев и кустарников.

Площади зеленых насаждений в Архангельской области небольшие. Самый крупный парк (Петровский) расположен в г. Архангельске, его площадь составляет около 12 га, в Северодвинске – спортивный парк по ул. Труда – 20 га. На одного жителя г. Северодвинска приходится 4,8 м<sup>2</sup> зеленых насаждений [7]. Подавляющее большинство зеленых насаждений создано несколько десятилетий назад, уход за ними носит случайный, а не систематический характер.

Основу насаждений составляют аборигенные древесные породы (березы повислая и бородавчатая, рябина, ивы, черемуха, лиственница, сосна, ель и др.) и интродуценты (тополя душистый и бальзамический, вяз гладкий, липа, акация, сирень, жимолости и др.). Видовой состав деревьев и кустарников небольшой: Архангельск – около 8 видов на окраине и до 58 в центре, Северодвинск – 26, Шенкурск – 16, Новодвинск – 19 видов [2]. Более богатый состав представлен в насаждениях специального назначения. Так, в коллекции дендрария Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (САФУ) насчитывается 217 видов, относящихся к 20 семействам и 52 родам, в дендросаду Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства (СевНИИЛХ) – около 646 таксонов, 595 видов из 73 родов и 29 семейств.

Одной из основных групп болезней в городских зеленых насаждениях являются гнили стволов, ветвей, вызываемые дереворазрушающими грибами-ксилотрофами, в первую очередь – афиллофоровыми. Распространение их в городе связано с возрастной структурой, проводимыми мероприятиями и уходом в насаждениях (обрезка, борьба с вредителями и болезнями). Более высокий уровень гнилевых болезней наблюдается в дворовых посадках, парках, скверах, на бульварах, где деревья достигают значительно большего возраста, чем в насаждениях вдоль трасс с интенсивным движением или вблизи крупных промышленных предприятий [9].

Перед нами стояли следующие задачи: выявить видовое разнообразие афиллофоровых грибов на древесных породах в зеленых насаждениях Архангельской области (городские посадки и насаждения специального назначения), провести эколого-трофический и географический анализ в сравнении с лесными насаждениями и показать ряд существенных различий между ними.

Объектами исследований были зеленые насаждения городов Архангельской области (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Шенкурск, Вельск, Коряжма), представленные посадками внутридворовых территорий, вдоль улиц и аллей, скверами и парками, дендросад СевНИИЛХа и дендрарий САФУ.

Сбор материала осуществляли в летний период при проведении мониторинга состояния зеленых насаждений. Осматривали живые, сухостойные, валежные деревья, ветви и пни деревьев и кустарников. Хорошо узнаваемые в полевых условиях виды грибов преимущественно не гербаризировали, информацию о них заносили в дневники наблюдений. Собранные образцы дереворазрушающих грибов обрабатывали и гербаризировали. Материал идентифицировали с помощью отечественных и зарубежных определителей и монографических обработок соответствующих таксонов [3, 4, 11], а также анализа гербарных коллекций Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE) Института леса КарНЦ РАН (PTZ).

Определение собранного материала проведено в лаборатории экологии популяций и сообществ Института экологических проблем Севера (ИЭПС) УрО РАН и в лаборатории систематики и географии грибов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН И.В. Змитровичем, которому автор выражает благодарность.

Собранная коллекция хранится в гербарии ИЭПС УрО РАН (AR). В ходе полевых работ было собрано более 200 образцов афиллофоровых грибов.

В результате нами был отмечен 61 вид афиллофоровых грибов – разрушителей древесины (табл. 1). Название видов приводится в соответствии со сводкой по макромицетам североевропейских стран [11].

На других территориях России число найденных видов значительно колебалось: Москва и пригороды – 33 вида дереворазрушающих грибов [9], Тюмень – 75 [1], Сыктывкар – 62 [10], Санкт-Петербург – 83 [6], Петрозаводск – 34...78, 128 видов в общем и по районам [8]. Сравнить между собой эти данные сложно, так как рассматриваются разные типы насаждений, занимающие разные площади и имеющие широкое видовое разнообразие древесных пород, а также длительность наблюдений.

**Афиллофоровые грибы на древесных породах  
в зеленых насаждениях Архангельской области**

Латинское название	Древесная порода*
<i>Athelia fibulata</i>	Дуб
<i>A. epiphylla</i>	Дуб
<i>Antrodiella pallescens</i>	Облепиха
<i>Basidioradulum radula</i>	Калина, ольха, рябина, сирень, сосна скрученная
<i>Bjerkandera adusta</i>	Боярышник, береза, бузина, ирга, жимолость, клен (остролистный, ясенелистный), ольха, орех манжурский, рябина, сирень, смородина, тополь, яблоня
<i>Byssomerulius corium</i>	Клен ясенелистный, тополь
<i>Cerrena unicolor</i>	Ива, клен, клен (полевой, ясенелистный), тополь
<i>Chondrostereum purpureum</i>	Береза, боярышник, дуб, клен полевой, осина, ирга, тополь, яблоня
<i>Coniophora arida</i>	Боярышник, облепиха
<i>Cylindrobasidium leave</i>	Барбарис, боярышник, вяз мелколистный, вишня, жимолость, каштан, клены (остролистный, ясенелистный, желтый), липа, рябина, черемуха Маака
<i>Creolophus cirrhatus</i>	Береза, осина
<i>Crustomyces subabruptus</i>	Рябина
<i>Datronia mollis</i>	Боярышник, рябина, яблоня
<i>Deadaleopsis confragosa</i>	Ива, ольха, рябина
<i>D. septentrionalis</i>	Береза
<i>Dentipellis fragilis</i>	Липа
<i>Fibricium rude</i>	Смородина
<i>Fomes fomentarius</i>	Береза, бузина, тополь
<i>Fomitopsis pinicola</i>	Береза, осина
<i>Ganoderma lipsiense</i>	Береза, ива, тополь
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	Пихта
<i>Hymenochaete tabacina</i>	Дуб, жимолость, рябина
<i>Hymenoscyphus</i> sp.	Жостер, липа, черемуха
<i>Hyphoderma cremeoalbum</i>	Боярышник
<i>H. setigerum</i>	Клен Гиннала, рябина
<i>Hyphodontia crustosa</i>	Боярышник
<i>H. sambuci</i>	Бузина, клен ясенелистный, липа, рябина, смородина
<i>H. verruculosa</i>	Сирень
<i>Hyphochnicium bombycinum</i>	Бузина, дуб, ива, ирга, клен (остролистный, полевой, ясенелистный), лещина, липа, облепиха, ольха, орех манжурский, рябина, сирень, яблоня
<i>H. lundellii</i>	Орех манжурский
<i>Inonotus obliquus</i>	Береза, ольха
<i>I. radiatus</i>	Дуб, лещина
<i>Oxyporus populinus</i>	Вяз, клен (остролистный, полевой, ясенелистный), липа, тополь
<i>Piptoporus betulinus</i>	Береза

Окончание табл. 1

Латинское название	Древесная порода*
<i>Peniophora cinerea</i>	Рябина
<i>P. incarnata</i>	Акация, дуб, жимолость, клен (остролистный, полевой, ясенелистный), лещина, липа, облепиха, рябина, сирень, черемуха Маака, ясень
<i>P. nuda</i>	Ирга, липа
<i>Plicatura crispa</i>	Береза
<i>Phellinus conchatus</i>	Акация, боярышник, жимолость, жостер, калина, клен полевой, крушина, лещина, рябина, яблоня, черемуха
<i>Ph. ignarius</i>	Ива
<i>Ph. nigricans</i>	Береза, вяз (гладкий, мелколиственный), дуб, яблоня
<i>Ph. populicola</i>	Осина
<i>Ph. punctatus</i>	Дуб, ирга, облепиха, сирень
<i>Ph. tremulae</i>	Осина
<i>Phlebia tremellosa</i>	Береза
<i>Ph. radiata</i>	Ива, рябина
<i>Phlebiopsis gigantea</i>	Сосна кедровая сибирская
<i>Polyporus squamosus</i>	Ива, тополь, яблоня
<i>P. varius</i>	Жимолость, липа, рябина, яблоня, ясень
<i>Pycnoporellus fulgens</i>	Рябина
<i>Radulomyces confluens</i>	Акация, бузина, боярышник, дуб, лох серебристый, облепиха
<i>R. rickii</i>	Облепиха
<i>Schizophyllum commune</i>	Липа
<i>Steccherinum fimbriatum</i>	Жимолость
<i>Stereum hirsuta</i>	Бузина, облепиха, рябина, сирень
<i>S. sanguinolentum</i>	Сосна скрученная
<i>Trametes hirsuta</i>	Жимолость, липа, облепиха, орех манжурский, рябина, черемуха
<i>T. ochraceae</i>	Тополь
<i>T. pubescens</i>	Береза
<i>T. suaveolens</i>	Ива, тополь
<i>T. trogii</i>	Клен полевой, рябина, тополь
<i>Vuilleminia comedens</i>	Липа

\* Для большинства видов указан только род.

Из других систематических групп грибов нами отмечены: *Nectria cinnabarina* (Ascomycota) – на бузине, боярышнике, бересклете, вязах, груше, ирге, кленах (зеленокорый, остролистный, полевой, ясенелистный), липе, рябине, рябиннике рябинолистном, смородине и черемухе, *Calocera cornea* (Basidiomycota: Dacrymycetes) – на рябине, *Exidia glandulosa* (Basidiomycota: Auriculariales) – на акации, клене и рябине, *Exidia nigricans* (Basidiomycota: Auriculariales) на ясене, *Tulasnella pallida* (Basidiomycota: Tulasnellales) – на липе.

Видовое разнообразие афиллофоровых грибов в городских насаждениях значительно беднее, чем в лесных экосистемах (61 из 484) [5]. Но только в зеленых насаждениях на интродуцентах отмечены *Athelia fibulata*, *Dentipellis fragilis*, *Hyphoderma cremealbum*, *Hyphodontia verruculosa*, *Vuilleminia comedens*; остальные виды отмечены и в лесных экосистемах. Наибольшее число видов зафиксировано на аборигенных древесных породах (рябина – 20, береза – 13). Чуть меньше 11 – на липе и тополе, 10 – на дубе, 9 – на облепихе, по 8 – на жимолости и кленах, по 1 – на барбарисе, вишне, каштане, клене желтом и Гиннала, крушине, лохе серебристом, сосне кедровой сибирской и яблоне.

Только на живых деревьях выявлены *Oxyporus populinus*, *Phellinus populicola*, *Ph. tremulae*. Эти виды характерны для старых и ослабленных экземпляров. Тополевый (кленовый) трутовик (*Oxyporus populinus*) встречается на различных видах вязов, кленов, лип и тополей. Зараженность последних в парковых посадках может достигать 17 % и более (для деревьев в возрасте более 60 лет). Одновременно на живых и мертвых стволах присутствуют *Creolophus cirrhatus*, *Fomitopsis pinicola*, *Inonotus obliquus*, *Hericium coralloides*, *Piptoporus pseudobetulinus*, *Phellinus conchatus*, *Ph. ignarius*, *Ph. nigricans*, *Polyporus squamosus*. Как правило, плодовые тела отмечены в местах механических повреждений, дуплах, у основания толстых, старых отмирающих и мертвых сучьев, что свидетельствует о достижении деревьями критического возраста (происходят процессы старения и отмирания деревьев). Такие деревья можно хорошо диагностировать по наличию плодовых тел и развитию гнили на завершающей стадии, протяженность которой в стволе достигает значительных размеров по высоте и диаметру. Перечисленные выше грибы являются потенциально опасными, так как пораженные ими деревья теряют устойчивость к ветру и легко поддаются бурелому и ветровалу. При проведении мониторинга необходимо выявлять такие деревья и удалять их из насаждений.

В лесной зоне подавляющее число видов дереворазрушающих грибов отмечено на валежной древесине (74,2 %), в рассмотренных нами насаждениях плодовые тела встречаются одновременно на сухостойной и валежной древесине (47,5 %), что может свидетельствовать о более быстром ослаблении деревьев, меньшей устойчивости и отсутствии санитарных мероприятий в насаждениях.

Среди дереворазрушающих грибов преобладают виды, широко распространенные на Земле (мультирегиональные, мультизональные). В лесах наблюдается более существенное присутствие видов бореальных и голарктических, которые в рассматриваемых насаждениях имеют слабую представленность. Это связано как с меньшей представленностью хвойных пород в озеленении, так и с наличием большого числа видов интродуцентов в зеленых насаждениях (табл. 2).

По возрастной структуре преобладают однолетние (50,8 %) и однолетние зимующие (28,8 %) виды, что также отличает зеленые насаждения городов области от лесной зоны, где однолетние виды существенно преобладают (81,4 %), однолетние зимующие и многолетние виды представлены почти в равных долях.

Таблица 2

**Распределение дереворазрушающих грибов (%)  
по долготно-региональному градиенту**

Географические элементы	Типы ареалов					Итого
	Е	АА	РА	Н	MR	
Бореальный	1,9	1,9	5,8	3,8	1,9	15,3
Неморальный	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	3,8
Мультизональный	1,9	0,0	5,8	19,3	53,9	80,9
<i>Всего</i>	3,8	1,9	11,6	23,1	59,6	100,0

Примечание: Е – европейский, АА – амфиатлантический; РА – палеарктический, Н – голарктический, MR – мультирегиональный.

Грибы, вызывающие белую гниль и разрушающие лигнин древесины, составляют 91,9 %, что связано с большей представленностью в насаждениях лиственных пород.

Сравнение полученных результатов с данными по лесным экосистемам по приуроченности к месту обитания выявило по степени увлажнения достаточно четкую зависимость – происходит замена гигрофильного на ксерофильный комплекс при стабильной доле участия мезофильных видов (59,1 %).

В зеленых насаждениях преобладают виды с мономитической гифальной системой (57,4 %), что характерно и для других зеленых насаждений [6].

Полученные нами данные расширяют представление о видовом разнообразии афиллофоровых грибов в зеленых насаждениях Архангельской области. Микобиота городских насаждений имеет свои специфические черты, существенно отличающиеся от лесных насаждений. Большая представленность видов на аборигенных породах, существенно больше (при сравнении с лесными древостоями) видов, отмеченных одновременно на сухостойной и валежной древесине, широко распространенных в различных растительных зонах и образующих плодовые тела в антропогенно нарушенных экосистемах. Полученные данные можно использовать для планирования санитарных мероприятий в зеленых насаждениях и их мониторинга.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арефьев С.П.* Консортивная структура сообщества ксилотрофных грибов г. Тюмени // Микология и фитопатология. 1997. Т. 31. Вып. 5. С. 1–8.
2. *Бабич Н.А., Залывская О.С., Травникова Г.И.* Интродуценты в зеленом строительстве северных городов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 144 с.
3. *Бондарцева М.А.* Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. Вып. 2: Семейства альбатрелловые, апорпиевые, болетопсиевые, бондарцевиевые, ганодермовые, кортициевые (виды с порообразным гименофором), лахнокладиевые (виды с трубчатым гименофором), полипоровые (роды с трубчатым гименофором), пориевые, ригидопоровые, феоловые, фистулиновые. СПб: Наука, 1998. 391 с.

4. Бондарцева М.А., Пармасто Э.Х. Определитель грибов СССР. Порядок афиллофоровые. Вып. 1: Семейства гименохетовые, лахнокладиевые, кониофоровые, щелелистниковые. Л.: Наука, 1986. 192 с.
5. Ежов О.Н. Афиллофоровые грибы Архангельской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 276 с.
6. Змитрович И.В. Распространение афиллофоровых грибов по территории Санкт-Петербурга // Микология и фитопатология. 1997. Т. 31, вып. 1. С. 19–27.
7. Проект организации и ведения лесного и лесопаркового хозяйства на о. Ягры / Управление архитектуры и градостроительства администрации г. Северодвинска Архангельской области. СПб, 2000. 130 с.
8. Руоколайнен А.В. Афиллофороидные грибы г. Петрозаводска и его окрестностей: дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 230 с.
9. Соколова Э.С. Дереворазрушающие грибы в городских насаждениях // Лесн. вестн. / МГУЛ. 2000. № 6. С.110–115.
10. Чирков А.В., Косолапов Д.А. Биота трутовых грибов различных районов города Сыктывкар // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докл. I (XIV) Всероссийской молодеж. науч. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, 3–6 апр. 2007 г.). Сыктывкар, 2007. С. 278–281.
11. Nordic Macromycetes. Vol. 3: Heterobasidioid, aphyllorphoroid and gastromycetoid Basidiomycetes / Ed. by L. Hansen, H. Knudsen. Copenhagen: Nordsvamp, 1997. 445 p.

Поступила 05.02.14

UDC 632:631.963 (470.11)  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.59

### **Aphyllorphorales in the Urban Plantations of Arkhangelsk Region**

*O.N. Ezhov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor*

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: olegezhik@gmail.com

The urban plantations are unique ecosystems where the introduced and native species as well as the natural ecological and urban regimes are combined. One of the disease group, distributed here, are stem and branch rots, caused by xylotrophic (primarily aphyllorphorales) fungus. The aim of the paper is the revealing of biodiversity of aphyllorphorales of trees and shrubs of the green plantations and the comparative ecological and trophic and geographical analysis with green plantations to demonstrate some significant differences between them. The objects of the research were the green plantations of the cities in Arkhangelsk region: Arkhangelsk, Severodvinsk, Novodvinsk, Shenkursk, Velsk and Koryazhma, and the single-purpose objects as the dendrogarden of Northern Research Institute of Forestry and the arboretum of Northern (Arctic) Federal University. The material was collected during the summer monitoring of green plantations. The identification of the material was carried out by the Russian and foreign field guides. The assembled collection is stored in the herbarium of Institute of Ecological Problems of the North of the Russian Academy of Sciences. The species diversity of aphyllorphorales in urban plantations is significantly poorer than in forest

ecosystems. Only here *Athelia fibulata*, *Dentipellis fragilis*, *Hyphoderma cremeoalbum*, *Hyphodontia verruculosa*, *Vuilleminia comedens* are identified on the exotic species. The other species were found in forest ecosystems. The greatest number of species was registered on native woody species. Such species as *Oxyporus populinus*, *Phellinus populicola*, *Ph. tremulae* were registered on the living trees. The *Oxyporus populinus* level of elms, maples, lindens and poplars can reach up to 17 % and more. At the same time *Creolophus cirrhatus*, *Fomitopsis pinicola*, *Inonotus obliquus*, *Hericium coralloides*, *Piptoporus pseudobetulinus*, *Phellinus conchatus*, *Ph. igniarius*, *Ph. nigricans*, *Polyporus squamosus* were observed on the living and dead trunks. Fruit bodies were registered in the parts of mechanical damage of stems, hollows and at the base of thick old dying and dead branches. A greater percentage of fruit bodies was recorded simultaneously in dry and dead wood indicating a more rapid weakening of the trees, smaller stability and the absence of forest sanitation. The multizone and multiregional species, widely distributed in the world, predominate here. Concerning to the age structure, the species with annual and annual wintering dominate. Fungus, caused white rot, compose up to 91,9 % due to the absolute predominance of broad-leaved species over the territory. In green plantations the substitution of hygrophilous species by xerophilous species with stable positions of mesophilic species is observed. The species with monomitic hyphal system predominate. The findings extend the idea of the species diversity of aphyllophorales in plantations of Arkhangelsk region. The mycobiota of urban plantations has specific features that differ substantially from forest plantations in the region. The obtained data can be used in the monitoring of green plantations and for the forest sanitation planning.

**Keywords:** introduced and native trees and shrubs, aphyllophorales, ecological and trophic analysis, geographic relations.

#### REFERENCES

1. Arefev S.P. Konsortivnaya struktura soobshchestva ksilotrofnykh gribov g. Tyumeni [The Consortive Structure of Xylotrophic Fungi Community of Tyumen]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 1997, vol. 31, no. 5, pp. 1–8.
2. Babich N.A., Zalyvskaya O.S., Travnikova G.I. *Introdutsenty v zelenom stroitel'stve severnykh gorodov* [Exotic Species of Sustainable Building in the Northern Cities]. Arkhangelsk, 2008. 144 p.
3. Bondartseva M.A. *Opredelitel' gribov Rossii. Poryadok afillloforovye. Vyp. 2: Semeystva al'batrellovye, aporpievye, boletopsievye, bondartseviyevye, ganodermovye, kortitsievye (vidy s poroobraznym gimenoforum), lakhnokladiyevye (vidy s trubchatym gimenoforum), poliporovye (rody s trubchatym gimenoforum), porievye, rigidoporovye, feolovye, fistulinovye* [The Field Guide of Fungus of Russia. Order Aphyllophorales. Vol. 2. Albatrellaceae, Aporpiaceae, Boletopsidaceae, Bondarzewiaceae, Ganodermataceae, Corticiaceae (Species with Poriform Hymenophore), Lachnocladiaceae (Species with Tubular Hymenophore), Polyporaceae (Genera with Tubular Hymenophore), Poriaceae, Rigidoporaceae, Phaeolaceae, Fistulinaceae]. Saint Petersburg, 1998. 391 p.
4. Bondartseva M.A., Parmasto E.Kh. *Opredelitel' gribov SSSR. Poryadok afillloforovye. Vyp. 1. Semeystva gimenokhetovye, lakhnokladiyevye, konioforovye, shchelelistnikovye* [The Field Guide of Fungus of the USSR. Order Aphyllophorales. Vol. 1. Hymenochaetaeaceae, Lachnocladiaceae, Coniophoraceae, Schizophyllaceae]. Leningrad, 1986. 192 p.

5. Ezhov O.N. *Afilloforovye griby Arkhangel'skoy oblasti* [Aphylophorales of Arkhangel'sk Region]. Yekaterinburg, 2013. 276 p.
6. Zmitrovich I.V. Rasprostranenie afillloforovykh gribov po territorii Sankt-Peterburga [The Distribution of Aphylophorales over the Saint Petersburg Territory]. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 1997, vol. 31, no. 1, pp. 19–27.
7. Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo i lesoparkovogo khozyaystva na o. Yagry [The Project of Organization and Forest Management on Yagry Island]. *Upravlenie arkhitektury i gradostroitel'stva administratsii g. Severodvinskaya Arkhangel'skoy oblasti* [Department of Architecture and Urban Planning of the City Government of Severodvinsk of Arkhangel'sk Region]. Saint Petersburg, 2000. 130 p.
8. Ruokolaynen A.V. *Afilloforoidnye griby g. Petrozavodska i ego okrestnostey*: dis. ... kand. biol. nauk [Aphylophoroid Fungus of Petrozavodsk and Its Vicinities: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Petrozavodsk, 2006, 230 p.
9. Sokolova E.S. Derevorazrushayushchie griby v gorodskikh nasazhdeniyakh [Wood-Destroying Fungus in Urban Green Plantations]. *Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2000, no. 6, pp. 110–115.
10. Chirkov A.V., Kosolapov D.A. Biota trutovykh gribov razlichnykh rayonov goroda Syktyvkar [The Biota of Polyporaceae in Various Districts of Syktyvkar]. *Aktual'nye problemy biologii i ekologii: Mater. dokl. I (XIV) Vserossiyskoy molodezh. nauch. konf. (Syktyvkar, Respublika Komi, 3–6 apr. 2007 g.)* [Actual Problems of Biology and Ecology: Proc. I (XIV) All-Russian Youth Sci. Conf.]. Syktyvkar, 2007, pp. 278–281.
11. *Nordic Macromycetes. Vol. 3: Heterobasidioid, Aphylophoroid and Gastromycetoid Basidiomycetes* / Ed. by L. Hansen, H. Knudsen. Copenhagen, 1997. 445 p.

Received on February 5, 2014



УДК 595.768.24.+630\*453.543.789  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.69

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОТРЯХИВАНИЯ ГУСЕНИЦ И ШИШЕК С ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

*С.Н. Орловский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.*

*С.А. Астапенко<sup>2</sup>, канд. биол. наук, инж.-лесопатолог*

*С.В. Комиссаров,<sup>1</sup> ст. преп.*

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, просп. Мира 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Филиал ФБУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Красноярского края», Академгородок, 50 «а», корп. 2, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: forest\_les@mail.ru

Проблемой чрезвычайной важности является получение достоверных сравнимых результатов при проведении детального надзора за опасными хвое- и листогрызущими вредителями при учете их в кроне дерева и сборе шишек хвойных деревьев. Цель работы – исследование ускорения кроны, обеспечивающего отрыв гусениц и шишек от веток. Решена задача определения поперечных смещений и ускорений ствола дерева под действием толчка (импульса), производимого на ствол дерева отдачей цилиндра при вылете из него поршня под воздействием взрыва порохового заряда. Проанализированы способы учета гусениц при детальном надзоре, околке кедров при отряхивании шишек. Описана конструкция разработанного авторами оборудования для отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев. Программа исследований предусматривала анализ влияния конструктивных особенностей отряхивателя, высоты точки приложения силы к стволу дерева, массы поршня, величины порохового заряда, характеристик модельного дерева. Исследования проводились как на математической модели, так и в натуральных условиях на макетном образце отряхивателя. Методы работы – математическое моделирование и экспериментальные исследования. Получены математические зависимости определения полной кинетической энергии системы дерево–отряхиватель, усилия толчка в зависимости от конструктивных параметров отряхивателя, массы поршня и величины заряда. Приведены теоретические основы расчета параметров удара, достаточных для сбивания гусениц и шишек. Составлены уравнения колебаний ствола дерева и ветки в различных точках. Определены формы колебаний, поперечные смещения и ускорения ствола дерева и ветки от импульса силы в зависимости от исходных данных на разном удалении от ствола в три последовательных момента времени. Экспериментально определены усилия удержания гусениц сибирского шелкопряда на ветке дерева в зависимости от возраста гусеницы в спокойном и потревоженном состояниях. Сделаны выводы о применимости устройства для отряхивания гусениц и шишек кедра, сосны, лиственницы европейской и японской. На основании полученных

результатов можно обосновывать конструктивные параметры отряхивателя и оценивать эффективность его применения.

*Ключевые слова:* насекомые-вредители, мониторинг, кедровые шишки, отряхивание, устройство, эксперименты, толчок, колебания, амплитуда, ускорения, параметры, усилия отрыва, применимость.

Для проведения учета численности хвое- и листогрызущих насекомых в кроне дерева применяют различные методы:

метод модельных ветвей, при котором из кроны дерева берется определенное количество ветвей в зависимости от необходимой точности учета зимующих кладок яиц или личинок насекомых-минеров;

валка модельного дерева на полог или его околот на полог колотом или прислонкой, т. е. отрезком древесного ствола диаметром около 15...20 см и длиной 2,5...3,0 м при учете гусениц, питающихся в кроне.

Валка дерева обеспечивает возможность точного учета, но трудоемка и приводит к гибели дерева. При этом для получения достоверных данных необходимо проводить валку значительного количества деревьев. Поэтому в условиях Сибири наибольшее распространение получил метод околота дерева на полог. Однако при использовании этого метода точность учета во многом зависит от силы удара и диаметра ствола дерева. Кроме того, нанесение нескольких ударов по стволу дерева приводит к повреждению коры, способствует заражению дерева дереворазрушающими грибами, местному усыханию ствола в месте нанесенных повреждений, что способствует заселению таких участков стволовыми вредителями. При выполнении больших объемов обследований лесопатологам необходимо иметь устройство, обеспечивающее передачу модельному дереву одного ударного импульса на заданной высоте от поверхности почвы, значение которого можно варьировать в зависимости от диаметра ствола по заранее известной зависимости [4].

Проблема механизации сбора семян хвойных деревьев до настоящего времени также недостаточно проработана. Одним из способов их сбора является применение механизмов, передающих стволу дерева вибрацию или ударный импульс. Наиболее важным показателем при сборе семян с растущих деревьев данным способом является ускорение кроны, обеспечивающее отрыв шишек от веток.

Цель работы – исследование ускорения кроны, обеспечивающего отрыв гусениц и шишек от веток.

Разработанный авторами отряхиватель (рис. 1) представляет собой устройство для передачи дереву ударного импульса на высоте около 3 м. Устройство состоит из снабженного амортизатором 1 цилиндра 2 и поршня 3, во внутренней полости которого размещен закрытый пыжом 4 заключенный в полиэтиленовый пакет пороховой заряд 5. В цилиндре имеется отверстие (в которое вкладывается капсуль 6), совпадающее с запальным отверстием 7 в поршне. На внешней поверхности цилиндра 2 размещен ударно-спусковой механизм, включающий спиральную пружину 8, боек 9, собачку 10, предо-

хранитель 11, спусковой рычаг 12 и взводную рукоять 13. К предохранителю и спусковому рычагу крепится спусковой шнур (не показан). На поршне имеется полость 14 для размещения в ней дополнительного груза массой до 15 кг (например, грунта). На нижней поверхности цилиндра есть гнездо для шеста 15.

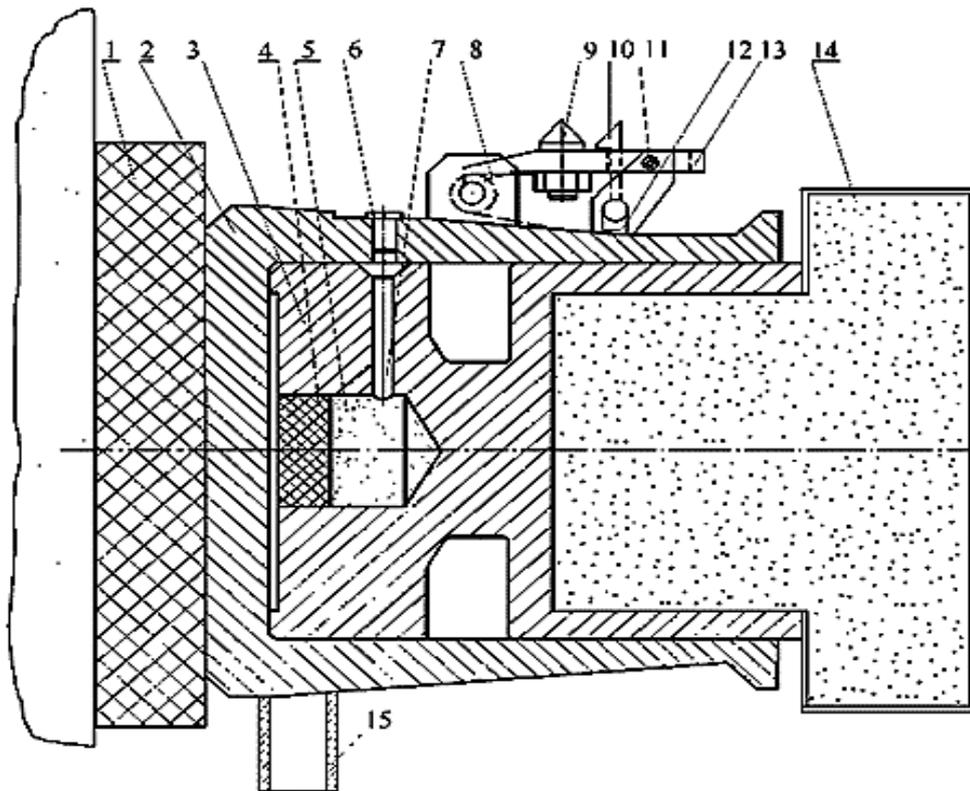


Рис. 1. Устройство для отряхивания гусениц и околота шишек

Устройство работает следующим образом. Оператор, подойдя к участку, выбирает отряхиваемые деревья. В поршень закладывается пакет с зарядом пороха, соответствующей диаметру модельного дерева массы и пыж, а в запальное отверстие цилиндра – капсюль. При необходимости в полость поршня загружается грунт. Ударно-спусковой механизм взводится и ставится на предохранитель, цилиндр одевается на шест, после чего в него вставляется поршень. После закрепления шеста с устройством на стволе дерева быстросъемной стяжкой оператор расстилает полог для сбора упавших гусениц или шишек, отходит на противоположную сторону дерева и натягивает спусковой шнур. Предохранитель выходит из гнезда, спусковой рычаг отводит собачку и освобождает боёк, который под действием пружины ударяет по капсюлю, пламя через запальное отверстие прожигает упаковку заряда и воспламеняет его.

Поршень под действием пороховых газов вылетает из цилиндра, который через амортизатор передает энергию отдачи стволу дерева. Сотрясение ствола передается кроне, находящиеся в ней гусеница или шишки падают на полог. На практике снижение дальности полета поршня до 3...5 м достигается присоединением к нему тормозного парашюта.

Используем следующие обозначения:  $V_{нач}$  – начальная скорость полета поршня при вылете из цилиндра отряхивателя;  $m_{п}$  – масса поршня;  $V_0$  – начальная скорость, передаваемая массе дерева  $m_0$  (скорость «отдачи» цилиндра устройства). Под массой дерева в расчетах принимается масса ствола модельного дерева, приведенная в центр масс [2];  $\Delta t$  – время движения поршня в цилиндре.

$$V_{нач} \cdot m_{п} = V_0 \cdot m_0.$$

Испытания опытного образца устройства проводились в сосновых лесах Красноярского края там, где имелись очаги размножения сибирского шелкопряда (при участии сотрудников «Центра защиты леса Красноярского края»), проводивших учет отпада гусениц, а также в кедровых лесах. Устройство испытывалось при высоте его установки 2,5 м над поверхностью почвы, массе заряда дымного пороха «Медведь» 7 г и массе поршня  $m_{п} = 10$  кг и дали следующие результаты:  $V_{нач} = 25$  м/с;  $\Delta t = 0,012$  с.

Параметры  $V_0$  и  $m_0$  можно рассчитать, зная полную кинетическую энергию  $E_k$  системы. При одной и той же массе пороха она должна быть константой. Энергию  $E_k$  можно приблизительно оценить, если устройство закрепить не на дереве, а на массивном основании. Тогда почти вся энергия системы будет равна кинетической энергии поршня [6]:

$$E_k = \frac{m_{п}}{2} V_{нач}^2.$$

Зная  $E_k$ ,  $V_{нач}$ ,  $m_{п}$ , решаем систему уравнений

$$\begin{cases} V_{нач} m_{п} = V_0 m_0 \\ \frac{m_0}{2} V_0^2 + \frac{m_{п}}{2} V_{нач}^2 = E_k \end{cases}$$

получаем

$$V_0 = \frac{2E_k}{m_{п} V_{нач}} - V_{нач}; \quad (1)$$

$$m_0 = m_{п} V_{нач} / V_0.$$

Скорость  $V_{нач}$  рассчитываем по известным физическим формулам [1] при известной высоте установки устройства  $h$  и дальности полета поршня  $S$  без учета сопротивления воздуха.

Зная массу гусеницы или шишки и усилие их отрыва от кроны дерева, можно на основе второго закона Ньютона пролучить требуемое значение ускорения в зоне отряхивания.

Поперечные ускорения и смещения ствола дерева можно рассчитать, если представить дерево колеблющейся балкой длиной  $L$ , один конец которой жестко закреплен, другой – свободен. Будем считать для простоты, что эта

балка имеет постоянное круглое сечение среднего радиуса  $r$ . Тогда для описания колебаний используем следующее дифференциальное уравнение в частных производных [6]:

$$\frac{\partial^4 Y}{\partial x^4} = -\frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где  $y$  – координата перпендикулярная  $x$ , с направлением вдоль приложенной силы;

$x$  – координата вдоль ствола дерева;

$$a = \frac{r}{2} \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

$E$  – модуль Юнга;

$\rho$  – плотность.

Решение уравнения (2) определяется граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned} (X_i(x))_{x=0} &= 0; & \left(\frac{dX_i}{dx}\right)_{x=0} &= 0; \\ \left(\frac{d^2 X_i}{dx^2}\right)_{x=L} &= 0; & \left(\frac{d^3 X_i}{dx^3}\right)_{x=L} &= 0; \\ Y(x, 0) &= 0; & \left(\frac{dY}{dt}\right)_{t=0} &= V(x). \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что  $V(x) = V_0$  на небольшом участке  $\delta$  в окрестности точки  $x = h$  и  $V(x) = 0$  при всех остальных  $x$  (локализованный удар). Расчетные аналитические формулы для поперечного колебания ствола дерева:

поперечное смещение, вдоль оси  $y$ , в точке  $x$ , в момент времени  $t$

$$Y(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) \frac{\varphi_i}{p_i} \sin(p_i t), \quad (4)$$

где  $i$  – номер гармоники ( $i = 1, 2, 3, \dots$ );

$$X_i(x) = \text{ch}(k_i x) - \cos(k_i x) - \beta(\text{sh}(k_i x) - \sin(k_i x)); \quad \beta_i = \frac{\cos(k_i L) + \text{ch}(k_i L)}{\sin(k_i L) + \text{sh}(k_i L)};$$

$$\varphi_i = X_i(h) V_0 \delta / \xi_i; \quad \xi_i = \int_0^L X_i^2(x) dx;$$

$$p_i = a k_i^2 - \text{частоты};$$

$k_i L$  – корни уравнения  $\cos(k_i L) \text{ch}(k_i L) = -1$  (с точностью  $10^{-3}$ :  $k_1 L \approx 1,875$ ;

$k_2 L \approx 4,694$ ;  $k_3 L \approx 7,855$ ; при  $i > 3$ :  $k_i L \approx (i - 0,5)\pi$ ;

поперечное ускорение ствола дерева

$$Y''(x, t) = \frac{\partial^2 Y(x, t)}{\partial t^2} = -\sum_{i=1}^{\infty} X_i(x) p_i \varphi_i \sin(p_i t). \quad (5)$$

Каждой гармонике с номером  $i$  соответствует гармоническое колебание ствола дерева с частотой  $p_i$  и периодом  $T_i = 2\pi/p_i$ . При численных расчетах необходимо ограничиваться конечным количеством гармоник  $i_{\max}$ , исходя из требуемой точности.

На рис. 2, 3 представлены расчетные поперечные смещения и ускорения ствола дерева, также формы колебаний  $X_i(x)$  при следующих исходных данных:  $E = 5 \cdot 10^9$  Па;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $L = 30$  м;  $r = 0,1$  м;  $V_0 = 10$  м/с;  $\delta = 0,2$  м;  $h = 2$  м;  $i_{\max} = 10$ . При этих исходных данных:  $a = 250$ ;  $T_1 = 6,43$  с;  $T_2 = 1,03$  с;  $T_3 = 0,37$  с.  $T_1 = 0,429$  с;  $T_2 = 0,068$  с;  $T_3 = 0,024$  с.

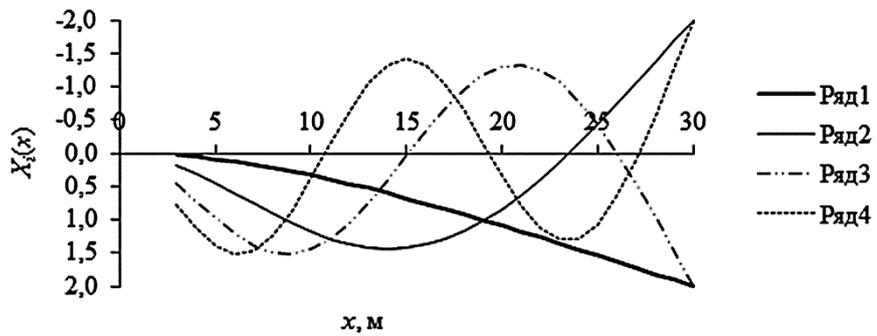


Рис. 2. Первые четыре формы колебаний  $X_i(x)$  ствола дерева высотой 30 м

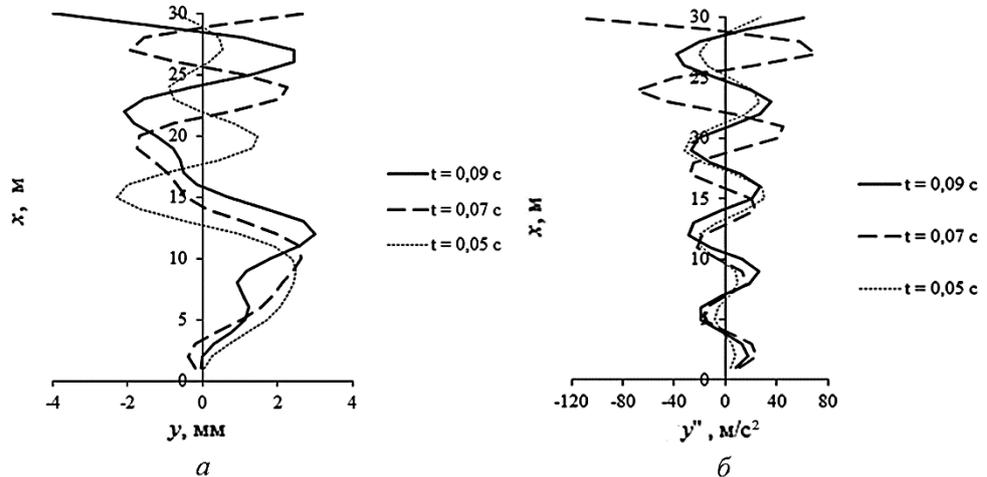


Рис. 3. Поперечное смещение  $y$  (а) и поперечное ускорение  $y''$  (б) ствола дерева в три последовательных момента времени после удара ( $h = 2$  м)

Если на некоторой высоте  $H$  от ствола отходит ветка, которая простирается вдоль оси  $y$ , то все смещения и ускорения ствола в точке  $x = H$  сохраняются и на этой ветке. Если ветка простирается перпендикулярно осям  $x$  и  $y$  (т. е. вдоль оси  $z$ ), то, чтобы определить колебание ветки вдоль оси  $y$ , необходимо решить задачу, аналогичную предыдущей, но вместо начальных условий у нее следующее требование: опора перемещается параллельно оси  $y$  по заданному закону  $g(t)$ . В данном случае  $g(t) = Y(H, t)$ , т. е. опора (или основание ветки) перемещается как и ствол дерева на высоте  $H$ .

Введем обозначения:  $z$  – расстояние от ствола дерева вдоль ветки (в предыдущей задаче  $x$ );  $U(z, t)$  – перемещение вдоль оси  $y$  точки ветки с координатой  $z$  (в предыдущей задаче  $Y(x, t)$ );  $l$  – длина ветки (в предыдущей задаче  $L$ );  $Z_i(z)$  – функции, описывающие форму прогибов (в предыдущей задаче  $X_i(x)$ );  $\ddot{g}(t) = Y''(H, t)$ ;  $b_i$  – частота  $i$ -й гармоники (в предыдущей задаче  $p_i$ ).

Искомое решение находим по следующей формуле:

$$U(z, t) = g(t) - \sum_{i=1}^{\infty} \left[ Z_i(z) \frac{\Psi_i}{b_i} \int_0^l \ddot{g}(t') \sin(b_i(t-t')) dt' \right], \quad (6)$$

$$\text{где } \Psi_i = \int_0^l Z_i dz \left/ \left( \int_0^l Z_i^2 dz \right) \right.$$

На рис. 4 представлены расчетные поперечные смещения и ускорения ветки дерева при следующих исходных данных:  $E = 5 \cdot 10^9$  Па;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $L = 3$  м;  $r = 0,015$  м;  $H = 25$  м;  $i_{\max} = 10$ , а также изменение поперечного ускорения.

Из рис. 4 можно сделать следующие выводы:

поперечное ускорение ствола дерева прямо пропорционально начальной скорости  $V_0$ ;

поперечное ускорение ветки не превышает ускорения ствола в месте крепления к нему ветки;

поперечное смещение ствола дерева возрастает при увеличении высоты крепления устройства;

поперечное ускорение ствола дерева при увеличении высоты крепления устройства и при неизменных прочих исходных параметрах, меняется незначительно;

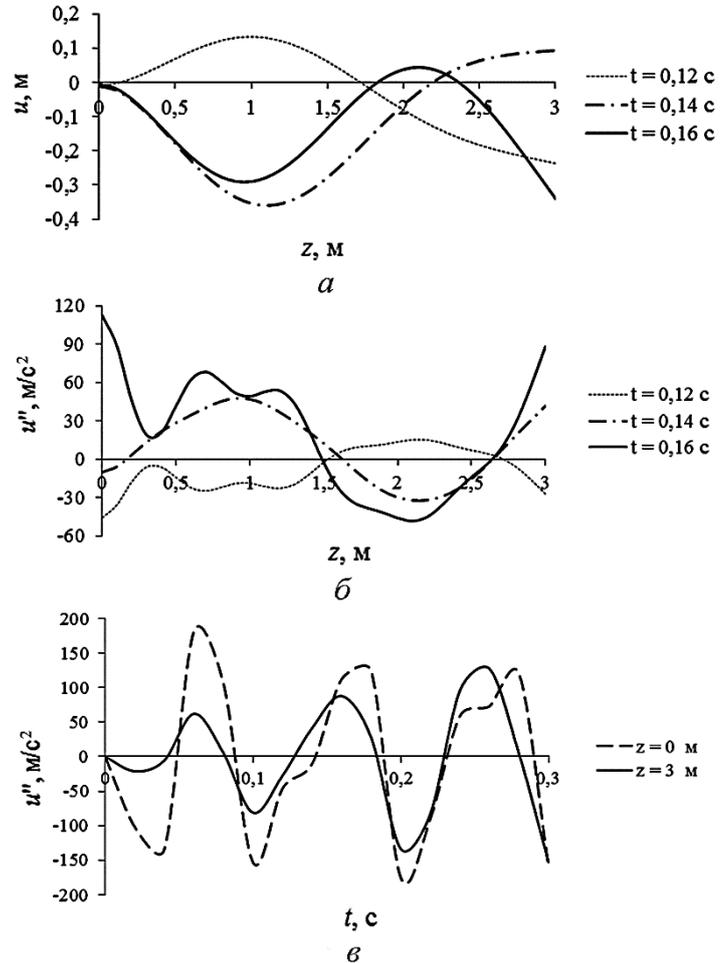
поперечное смещение ветки – максимально в ее конце и значительно больше, чем у основания.

Исходные данные для колебания ствола при этом оставались прежними.

При всех этих исходных данных первые три гармоники (с частотами  $b_i$ ) имеют периоды:  $T_1 = 0,429$  с;  $T_2 = 0,068$  с;  $T_3 = 0,024$  с.

По приведенным выше формулам определяется масса поршня и оценивается величина порохового заряда, обеспечивающие выполнение технологического процесса.

Рис. 4. Поперечное смещение  $u(z, t)$  (а) и поперечное ускорение ветки  $u''(z, t)$  на разном удалении от ствола  $z$  в три последовательных момента времени  $t$  и в зависимости от времени  $t$  (б) в двух разных точках на разном удалении  $z$  от ствола (в)



Средние сопротивления срыву шишек кедра, ели обыкновенной, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, европейской и японской составляют соответственно 2,45; 4,78; 2,50; 4,00; 3,27; 2,96 кг. Они зависят от температуры и влажности воздуха, возраста семенника, патологического состояния дерева и других факторов [3]. Усилия  $F_1$  от воздействия расчетного ускорения в кроне  $1137 \text{ м/с}^2$  на шишки массой  $0,19 \dots 0,03 \text{ кг}$  изменяются соответственно от 22,02 до 3,47 кг, что позволяет сделать предварительный вывод о применимости устройства для отряхивания шишек кедра, сосны, лиственницы европейской и японской.

Для эксперимента были использованы гусеницы сибирского шелкопряда, являющиеся одними из самых крупных среди хвое- и листогрызущих вредителей, дающих вспышки массового размножения. Средняя масса гусениц

младших возрастов составляет 0,15 г, старших – 3,2 г [5]. Усилие отрыва их от ветви зависит от множества факторов: температуры окружающего воздуха, состояния поверхности, физиологического состояния самой гусеницы, возраста и др. Среднее усилие ее сцепления с веткой дерева, по экспериментальным замерам авторов, изменяется в пределах от 3,6 г (у гусеницы младших возрастов) до 15...20 г (у спокойно питающейся гусеницы старших возрастов). Усилие отрыва гусениц для расчетного ускорения составляет 17,3...370,0 г, что значительно превышает усилие их сцепления с ветвями дерева даже в потревоженном состоянии. При проведении учетов гусениц для околата подбирают модельные деревья диаметром 16...23 см на высоте 1,3 м от поверхности почвы, что дает основание для проектирования уменьшенного по размерам и массе варианта устройства для учета гусениц при детальном надзоре.

Количество гусениц, отряхиваемых с модельного дерева на полог, рассчитывали по формуле

$$N = kn, \quad (7)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент;

$n$  – количество опавших при отряхивании на полог гусениц, шт.

Количество опавших на полог гусениц может отличаться от среднего значения  $n$  на  $\pm \Delta n$ , поэтому расчетные значения заселенности модельного дерева могут отличаться от среднего на  $\pm \Delta N$ :

$$N \pm \Delta N = k(n \pm \Delta n). \quad (8)$$

Принимем  $N \geq n \geq n_{\min}$ , тогда среднее количество опавших на полог гусениц

$$n = \frac{N + n_{\min}}{2}, \quad (9)$$

коэффициент поправки с учетом (7)

$$k = \frac{2N}{N_1 n_{\min}}. \quad (10)$$

В худшем случае, когда количество опавших гусениц составляет  $n_{\min}$ , погрешность учета не должна превышать 30 %:

$$\frac{N - kn_{\min}}{N} \leq 0,3. \quad (11)$$

Подставляя значение  $k$  из (10) в (11), получим

$$\frac{n_{\min}}{N} \geq 0,54. \quad (12)$$

Выражение (12) означает, что, если отряхиватель обеспечит опад из кроны 54 % гусениц, то погрешность определения заселенности модельного дерева не превысит 30 %. Необходимо, чтобы практически все гусеницы отряхивались при первом импульсе, поскольку не упавшая от сотрясения кроны гусеница в 2 – 3 раза увеличивает усилие сцепления с ветками дерева. Околат деревьев колотом или прислонкой не позволяет выполнить данное условие, поэтому применение специального устройства для передачи дереву

ударного импульса заданной величины повышает точность учета заселенности деревьев гусеницами вредителей.

#### *Выводы*

1. Математическое моделирование процесса отряхивания гусениц и шишек с хвойных деревьев позволяет определить оптимальные параметры отряхивающего устройства, позволяющего выполнять технологический процесс с достаточной точностью.

2. Экспериментальные исследования подтвердили обоснованность конструктивных и технических параметров устройства.

3. Разработанный алгоритм расчетов позволяет выбрать массу поршня, величину порохового заряда и высоту установки устройства к стволу дерева от поверхности земли для древостоев различной полноты.

4. Экспериментальные исследования подтвердили отсутствие повреждений коры дерева при выполнении технологического процесса отряхивания.

5. Для отряхивания кедровых шишек с древостоев диаметром 20, 30 и 40 см следует применять пороховые заряды массой 8, 10 и 12 г, для больших диаметров можно использовать по 2 заряда массой 10 г. при загрузке внутренней полости поршня дополнительной массой порядка 5...8 кг.

6. Испытания показали целесообразность разработки двух конструктивных вариантов устройства:

для отряхивания гусениц при лесопатологических обследованиях лесов (массой менее 5 кг из современных конструктивных материалов);

для околата кедровых шишек (массой около 15 кг из обычной стали).

7. Применение устройства для околата кедровых шишек взамен вибратора позволяет снизить затраты на выполнение работ, исключить нарушение экологии и повреждение древостоев от передвижения трактора по лесу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаевой А.И., Калабухов Н.П., Левашова Л.Е., Чепуренко В.Г. Справочник для поступающих в ВУЗы. «Наукова думка», Киев, 1969.

2. Дербердеев А.А. К вопросу о центре тяжести и моменте инерции дерева // Лесн. журн. 1966. № 6. С. 53–63. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Лавров И.А. Сопротивление шишек сосны, ели и лиственницы срыву // Исследование и совершенствование лесотранспортных машин. Л.: ЛТА, 1970. Вып. 125. С. 128 – 131.

4. Наставления по надзору, учету и прогнозу хвое- и листогрызущих насекомых в европейской части РСФСР. М., 1988. 84 с.

5. Рожков А.С. Сибирский шелкопряд. М.: АН СССР, 1963. 175 с.

6. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Универ У. Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.

Поступила 27.07.15

UDC 595.768.24.+630\*453.543.789  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.69

### Calculation of Equipment for Shaking of Cones and Larvae off Conifer Trees

*S.N. Orlovskiy<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*S.A. Astapenko<sup>2</sup>, Candidate of Biological Sciences, Engineer and Forest Pathologist*

*S.V. Komissarov<sup>1</sup>, Senior Lecturer*

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira ave., 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Centre of Forest Health of Krasnoyarsk Region, Branch of the Russian Centre of Forest Health, Akademgorodok, 50 "A", Bl. 2, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: forest\_les@mail.ru

The problem of collecting valid comparative data during the detailed analysis of harmful needle and leaf eating insect pests and their numbers in tree crowns and cones is of the utmost importance. Our goal was to study the range of crown acceleration providing shaking of larvae and cones off the tree branches. We solved the problem of transverse displacement measuring and acceleration of tree trunks under the action of impulse coming from the cylinder performance when a piston flew out under the influence of the explosion of propellant powder. Methods of larvae at detailed monitoring and shaken off cones counting were analyzed. Design of equipment for shaking of cones and larvae off conifer trees constructed by the authors is described. The research program included the impact analysis of shaker design features, height of the point of application of force on a tree trunk, piston mass, volume of propellant powder and the tree characteristics. The research was conducted on the mathematical models and on the brassboard of the shaker in the natural conditions. The methods of operation are the mathematical modeling and experimental studies. The mathematical relationships to compute full kinetic energy of "tree – shaker" system, impulse forcing depending on the shaker design, piston mass and volume of propellant powder were derived. The theoretical background to calculate the shake parameters sufficient for shaking of larvae and cones off is presented. The equations of tree trunk and branches oscillations in different points were derived. Oscillation modes, transverse displacement and acceleration of a tree trunk and branches from the impulse power in dependence on the input data at different distances from the trunk at three sequential time intervals were determined. The efforts of Siberian moth larvae for retention on the tree branches at different development stages were determined experimentally in quiet and disturbed insects. The conclusions about the applicability of the device for shaking of larvae and cones off Siberian pine, Scotch pine, European and Japanese larch were made. The design parameters of a shaker and the effectiveness of its application can be justified by the obtained results.

*Keywords:* insect pest, monitoring, Siberian pine cone, shaking off, device, experiments, impulse, oscillation, amplitude, acceleration, parameters, tearaway force, applicability.

REFERENCES

1. Gaevoy A.I., Kalabukhov N.P., Levashova L.E., Chepureno V.G. *Spravochnik dlya postupayushchikh v vuzy* [A Guide for the Undergraduate Applicants]. Kiev, 1969.
2. Derberdeev A.A. K voprosu o tsentre tyazhesti i momente inertsii dereva [Revisiting the Center of Gravity and Moment of Inertia of the Tree]. *Lesnoy zhurnal*, 1966, no. 6, pp. 53–63.
3. Lavrov I.A. Soprotivlenie shishek sosny, eli i listvennitsy sryvu [Resistance of Pine Cones, Spruce and Larch to Dropping]. *Issledovanie i sovershenstvovanie lesotransportnykh mashin* [Research and Upgrading of Forestry Machines]. Leningrad, 1970, iss. 125, pp. 128–131.
4. *Nastavleniya po nadzoru, uchetu i prognozu khvoe- i listogryzushchikh nasekomykh v evropeyskoy chasti RSFSR* [Instructions on Supervision, Accounting and Forecast of Needle-Eating and Leaf-Eating Insects in the European Part of the RSFSR]. Moscow, 1988. 84 p.
5. Rozhkov A.S. *Sibirskiy shelkopryad* [Siberian Moth]. Moscow, 1963. 175 p.
6. Timoshenko S.P., Yang D.Kh., Univer U. *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Oscillations in Engineering]. Moscow, 1985. 472 p.

Received on July 27, 2015

---

---

УДК 630\*377+630\*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.81

## РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ЛЕСОЗАГОТОВОК НА УРАЛЕ

*Н.Н. Теринов, д-р с.-х. наук, проф.*

*Э.Ф. Герц, д-р. техн. наук, проф.*

*Ю.Н. Безгина, канд. с.-х. наук, доц.*

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37,  
г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: n\_n\_terinov@mail.ru, gerz.e@mail.ru

В статье ретроспективно рассматриваются становление и развитие лесозаготовительной отрасли в Уральском регионе. На фоне технического прогресса, который можно условно разделить на три этапа, отслеживается связь соответствующей техники и технологий лесозаготовок с лесообразовательным процессом на вырубках. Упоминаются некоторые факты нормативного и организационного характера в сфере пользования лесом, позволяющие сблизить интересы лесного хозяйства и лесозаготовки. Первый этап (с начала промышленного освоения лесов и до 1930 г.) характеризуется применением куренных рубок и вывозкой заготовленной древесины гужевым транспортом. Уже в этот период осознается необходимость сохранения хвойного подростка предварительной генерации в процессе лесосечных работ и его роль в формировании будущих насаждений. Второй этап (с 1930 г. по 1970 г.) связан с приходом на лесозаготовку чокерных тракторов. В этот период постепенно происходит совершенствование способов рубок и технологий лесозаготовок в сторону сохранения и воспроизводства хвойных насаждений. Так, узкопосечная технология разработки лесосек с трелевкой хлыстов за вершину обеспечивает сохранность до 80 % хвойного подростка предварительной генерации в пасеках от его исходного количества в древостое. Внедряются упрощенные чересполосно-пасечные (П.В. Алексеев) и длительно-постепенные рубки (А.В. Побединский). Начало третьего этапа относится к началу 1970-х гг. и связано с появлением многооперационной лесозаготовительной техники. Это по отношению к традиционной технике не только повысило производительность труда, но и увеличило на 27...58 % площадь волоков и на 16...23 % отпад оставшихся после рубки тонкомерных деревьев. Приведены литературные данные, показывающие многократное увеличение интенсивности водной эрозии после применения тяжелой лесозаготовительной техники по сравнению с нетронутыми участками и ее негативное влияние на некоторые другие гидрологические свойства лесных почв. Высказано предположение о развитии класса специализированной малогабаритной техники, способной осуществлять выборочные рубки под пологом леса.

*Ключевые слова:* рубка леса, лесозаготовительная техника, сохранение лесной среды и подростка.

В истории развития лесного хозяйства и лесозаготовительной отрасли нашей страны, в том числе на Урале, применения в лесах способов рубок и методов лесозаготовок, во многом определяющих направление лесовосстановления вырубок, можно условно выделить три этапа.

*Первый этап* (начало XVIII в. – 1930 г.) связан с началом промышленного освоения лесов Урала, которые в это время являлись единственной энергетической базой для горнозаводского производства. Наличие лесов, пригодных для производства из него древесного угля, было необходимым условием длительной и бесперебойной работы заводов. Для удовлетворения потребностей горнозаводской промышленности уже в начале XVIII в. на Урале ежегодно заготавливалось огромное по тем временам количество древесины (10...11 млн м<sup>3</sup>) [12]. На протяжении 130 лет рубку леса производили бессистемно, как правило, без отвода лесосек, путем применения куренных рубок, которые в современном понимании представляли собой сплошные, а чаще – условно-сплошные концентрированные рубки [16]. Древесный уголь выжигали непосредственно на лесосеках. Очередную лесосеку начинали «от старого пня», т. е. от границы прошлогодней вырубки, в результате чего освобожденные от леса площади составляли по несколько квадратных километров. Подобное использование лесных богатств уже к середине XVIII в. по словам очевидцев привело к заметному «оскудению лесов и к их удалению от заводов» [15]. Проблема возобновления вырубок хозяйственно ценными породами стала приобретать первостепенное значение. В это период принимается ряд законодательных актов о лесах. Одним из первых был указ Сибирской губернской канцелярии от 4 октября 1759 г., на основе которого заключались договоры с артелями на заготовку угля. Согласно этим договорам предусматривалось сохранение при рубках леса всего подроста, который имел окружность корневой шейки не менее 3 вершков (13,3 см) [18]. Несколько позднее, в 1785 г., был составлен, а в 1802 г. утвержден «Проект указа о лесах», где рубка всех древостоев в целях успешного возобновления леса на вырубках должна производиться узкими лесосеками шириной не более 20 сажень (42,6 м) [16]. В результате требования о сохранении подроста и узколесосечная технология разработки лесосек с кулисным примыканием на Урале были реализованы в правилах рубок, составленных в 1814 г. [15]. Система узколесосечных рубок на Урале с шириной лесосеки 50 сажень (107,0 м), предусматривавших обязательное сохранение подроста на вырубках, стала внедряться с 30-х гг. XIX в. и целое столетие была господствующей формой хозяйства на всей территории Урала [16].

В течение всего первого этапа рубка леса производилась исключительно вручную, в зимний период с трелевкой (вывозкой) древесины гужевым транспортом. Это был один из основных видов отхожего промысла в зимний период для крестьян. Зимняя заготовка леса в сочетании с конной трелевкой создавала условия для сохранения подроста и способствовала успешному возобновлению вырубок хвойными породами. Однако после куренных рубок во многих случаях наблюдалась смена пород. Отмечалось, что после вырубки темнохвойных древостоев под пологом лиственных пород происходило постепенное накопление елово-пихтового подроста, который после развала верхнего мягколиственного яруса снова может сформировать темнохвойное

насаждение. Идея сохранения и использования второго яруса ели в елово-лиственных древостоях и формирование из подроста хвойных насаждений была выдвинута в конце 30-х гг. XIX в. директором Лисинского учебного лесничества Вейхентайлем. Почти одновременно с ним, в 1842 г., для достижения той же цели тогдашний лесничий частных уральских лесов, принадлежащих графам Строгановым, А.Е. Теплоухов рекомендовал сплошную вырубку верхнего полога из березы и сохранение еловых деревьев. При этом высота оставшейся ели должна быть такой, чтобы исключалось ее повторное затенение [19]. Реализация этой идеи на практике произошла значительно позднее. Благодаря разработанному и проведенному лесничим Лисинской опытной дачи Д.М. Кравчинским методу рубок, которые известны в литературе как «рубки Кравчинского», за 1896–1922 гг. площадь ельников в лесничестве увеличилась более чем на 7 % [3].

*Второй этап* (1930–1970 гг.) связан со становлением и созданием лесозаготовительной отрасли, основной задачей которой было резкое увеличение объемов заготовки древесины за счет повышения производительности труда в период индустриализации и послевоенное время. Достижение этой цели было реализовано с помощью постоянно действующих лесозаготовительных предприятий и внедрения тракторной техники. В начале этого периода на трелевке леса использовался трактор С-60 («Сталинец»), после Великой Отечественной войны – КТ-12, С-80, позднее – семейство тракторов ТДТ и ТТ-4. Система узколесосечных рубок уступает место сплошным концентрированным. Укрепилось мнение, что с приходом тракторов на трелевку леса невозможно обеспечить сохранность подроста на лесосеках, поэтому основное внимание стало уделяться, так называемым, планируемым методам по содействию естественному возобновлению. Сюда относились минерализация почвы на вырубках с подсевом и без посева семян хвойных пород, а также простейшие способы создания лесных культур. Непланируемые меры (сохранение подроста, оставление обсеменителей) в большинстве случаев не проводилось, хотя позже были признаны важнейшим лесохозяйственным мероприятием в таежной зоне нашей страны [23]. Понятно, что бессистемная трелевка леса на лесосеках не могла не способствовать смене пород. Объективным подтверждением такого направления лесообразовательного процесса, например на Урале, могут служить производные мягколиственные древостои, образовавшиеся на значительных площадях после проведения сплошных концентрированных рубок в 30–40-х гг. XX в. [9, 17].

Исследовательские работы, проведенные в этот период на Урале и в других регионах страны, доказали необходимость и возможность сохранения хвойного подроста при разработках лесосек сплошными рубками. Было установлено, что сохранность подроста при сплошной рубке может составлять 50...75 % от его общего количества до рубки [2, 14]. Это достигалось размерами пасеки, ширина которой не превышала полуторной высоты древостоя, валкой деревьев вершиной на волок под острым углом к направлению трелевки

хлыстов и движением тракторов только по трелевочным волокам. Начиная с 60-х гг. XX в., основное количество рубок на Урале производилось этим способом, который известен как скородумский метод разработки лесосек узкими лентами. Этот метод лег в основу удмурдской, тагильской, карельской технологий. Наряду со сплошными изучался и обобщался опыт работы по проведению двух- и трехприемных постепенных и выборочных рубок с предварительной разрубкой волоков и трелевкой хлыстов за вершину. Было установлено, что в этом случае сохранность хвойного подроста предварительной генерации в пасеках может достигать 80 % от его исходного количества в древостое [5, 8]. В этот же период (1956 г.) П.В. Алексеевым были разработаны и внедрены в Марийской АССР и Костромской области упрощенные чересполосно-пасечные постепенные рубки в елово-лиственных древостоях [1]. Предложенный способ продемонстрировал удовлетворительные результаты по сохранению подроста и формированию темнохвойных насаждений. На Урале чересполосно-пасечные постепенные рубки успешно зарекомендовали себя в условиях Серовского лесхоза, где они активно стали внедряться с 1991 г. Эти и другие исследования нашли свое отражение в «Основных положениях по проведению рубок главного пользования и лесовосстановительных рубок в лесах СССР» (1966 г.), а позднее – в «Правилах рубок главного пользования и лесовосстановительных рубок в горных лесах Урала» (1980 г.). В последние по приказу Гослесхоза СССР за № 27 от 21 февраля 1986 г. дополнительно включены длительно-постепенные рубки, предложенные А.В. Побединским, и чересполосно-пасечные (полосно-постепенные) рубки П.В. Алексеева. (В Правила рубок главного пользования в лесах Урала (1994 г.) они вошли как чересполосные постепенные рубки, а в Правила заготовки древесины (2011 г.) – как двухприемные чересполосные постепенные рубки).

*Третий этап* можно отнести к началу 70-х гг. XX в. с внедрением на лесозаготовительных работах многооперационных машин отечественного производства, оборудованных гидравлическими челюстными захватами и манипуляторами, что ознаменовало начало перехода к механизации лесосечных работ. Однако появление таких машин (валочно-пакетирующая машина ЛП-19, валочно-трелевочная ВТМ-4, бесчokerные трелевщики ЛП-18 и ЛТ-154, созданные на базе трактора ТТ-4 и др.) привело не только к повышению производительности труда, но и к существенному ухудшению процессов естественного возобновления хвойных пород на вырубках. При разработке лесосек многооперационными машинами на 27...58 % увеличилась площадь волоков по сравнению с традиционной технологией заготовки леса (валка бензомоторными пилами, трелевка деревьев за вершину тракторами с канатно-чokerной оснасткой). Кроме того, на 16...23 % увеличился отпад оставшихся после рубки тонкомерных деревьев [11]. В процессе рубки с применением бесчokerных машин (ЛП-18, ЛП-18А) и трелевкой хлыстов за комель сохраняется 13 % тонкомерной части древостоя и около 20 % подроста [22]. В результате неупорядоченного передвижения подобной техники по площади

лесосеки происходит практически полное уничтожение подроста [20]. Это приводит к необходимости восстановления вырубок хозяйственно ценными хвойными породами путем создания лесных культур.

Нельзя не отметить, что с приходом на лесосеки тяжелых гусеничных тракторов, особенно многооперационных машин, на первый план выдвинулась проблема сохранения лесной среды при лесозаготовках. В частности, на Урале интенсивность процессов водной эрозии по сравнению с нетронутыми участками увеличивается от 75 до 693 раз, скважность почвы снижается в 1,1–1,8 раза, коэффициент поверхностного стока возрастает в 253 раза, внутрипочвенный сток прекращается полностью [4]. Ухудшенные водно-физические и стокорегулирующие свойства лесных почв на волоках сохраняются на протяжении 20 лет и более [6]. Уплотнение верхних горизонтов почвы в 1,4 и 2,5 раза (соответственно гусеничными тракторами и многооперационными машинами) приводит к ухудшению семенного возобновления и сохранности всходов сосны и ели [10]. Глубокая минерализация почвы с обнажением и уплотнением нижних горизонтов еще более усугубляет эти процессы. По мнению А.В. Побединского, в некоторых случаях изменения лесорастительной среды под влиянием техники и технологий лесосечных работ более существенны, чем изменения, связанные с удалением древостоя [13]. Необходимость сохранения подроста ценных пород при лесозаготовках с одновременным решением задачи максимального сохранения лесной среды стимулировала поиски более совершенных технологических приемов по разработке лесосек многооперационной техникой. На сегодняшний день имеется ряд технологических схем, позволяющих сократить количество волоков и сохранить подрост на 70...90 % площади сплошной рубки [7]. Однако внедрение в производство этих схем происходит крайне медленно, так как при этом предусматривается увеличение числа холостых проходов, что приводит к снижению производительности.

Начавшееся в начале XXI в. внедрение новой системы машин (харвестеров и форвардеров) в практику лесопромышленного производства Урала явилось отражением ряда процессов, происходящих в стране, прежде всего общего подъема промышленности, стимулирующего внедрение производственного оборудования в отрасль, пережившую стагнацию и откат к механизированным технологиям со значительной долей ручного труда. Значительное влияние при переходе на технологии с вывозкой сортиментов оказывают и ограничения длины автопоезда на дорогах общего пользования. Однако внедрение этой системы машин в сравнении с валочно-пакетирующими машинами не является шагом вперед в вопросах сохранения древостоя, в том числе и подроста, или возможности ведения выборочных рубок. Кроме того, харвестеры имеют недостаток, поскольку не работают «бесповальным» способом, когда дерево выносится из насаждения на волок, к месту укладки, в вертикальном положении. Очевидно «сортиментная» и «хлыстовая» технологии, совершенствуясь, будут существовать параллельно. Есть вероятность, что в недалекой перспективе при выборочных рубках в средневозрастных и приспевающих древостоях, а также при широкопосечной технологии будет

применяться класс техники, способной работать под пологом леса. Разработана такая техника будет на основе маневренных, малогабаритных тракторов, имеющих малое удельное давление на почву и способных осуществлять вывозку заготовленной древесины в сортиментах или подтаскивать хлысты к пасечному волоку для дальнейшей их транспортировки на верхний склад более мощными трелевочными механизмами. Применение такой техники наиболее вероятно в защитных лесах, где к сохранению лесной среды предъявляются повышенные требования. Определенный опыт использования такой техники на уральских предприятиях имеется. Так, в Нижнесергинском лесхозе на рубках ухода хорошо зарекомендовал себя мини-трактор шведского производства, известный как «Железный конь». В Сухоложском лесхозе в 1998 г. успешно прошел опытно-производственную проверку малогабаритный трактор ЛМТ-1, который использовался при проведении проходной рубки на лесосеке, организованной без рубки технологических коридоров [21].

Таким образом, анализ исторического развития практики лесного дела и лесопромышленного производства на примере Уральских лесов позволяет заключить следующее:

1. Необходимость сохранения при рубке подроста хвойных пород предварительной генерации и его роль в формировании будущих насаждений была осознана практиками лесного дела с начала промышленного освоения лесов. С учетом сплошнолесосечной формы хозяйства сохранение подроста на вырубках рассматривалось как эффективное лесовосстановительное мероприятие.

2. Развитие лесозаготовительной техники до настоящего времени шло по пути повышения производительности труда на лесозаготовках. При этом каждое новое поколение лесозаготовительных машин приводило к большим нарушениям природной среды и снижению эффективности процессов естественного возобновления на вырубках. Прогресс в технологических приемах разработки лесосек получал толчок лишь после того, когда остро вставал вопрос о количестве и качестве будущих лесов.

3. В настоящее время становится все очевидней необходимость диверсификации систем машин и оборудования в целях возможности выполнения не только сплошных рубок. Проведение выборочных рубок, в том числе рубок ухода в средневозрастных и приспевающих насаждениях, в значительных объемах невозможно с имеющимся парком лесозаготовительной техники и предполагает, как минимум, появление машин с увеличенным вылетом манипулятора, а также машин, способных работать под пологом леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев П.В.* Чересполосно- и коридорно-пасечные рубки в еловолиственных древостоях. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1967. 118 с.
2. *Анисимов П.М.* Сохранность подроста при различных способах заготовки леса // Лесн. хоз-во. 1966. № 3. С. 24–25.
3. *Байтин А.А.* Краткий обзор истории хозяйства в Лисинском лесном массиве // Природа и хозяйство учебных леспромхозов Лесотехнической академии. М.; Л., 1931. Вып. 3. С. 163–189.

4. Данилик В.Н. Влияние техники и технологии лесозаготовок на водоохранный защитные функции леса // Лесн. хоз-во. 1979. № 2. С. 24–26.
5. Данилик В.Н., Комиссарова Л.А. Выборочные и постепенные рубки в Кусинском леспромхозе // Лесн. хоз-во. 1963. № 12. С. 29–32.
6. Данилик В.Н., Макаренко Г.П., Мурзаева М.К., Теринов Н.Н., Толкач О.В. Влияние лесозаготовительных работ на лесную среду и возобновление в лесах Среднего Урала // Проблемы лесовосстановления в горных лесах. М.: ВНИИЛМ, 1984. С. 23–28.
7. Инструкция по организации лесосечных работ пасечным способом с применением многооперационных машин. Свердловск: СНПЛО, 1981. 13 с.
8. Кищенко Г.Н. Механизированные постепенные и выборочные рубки в лесах I и II групп // Лесн. хоз-во. 1964. № 2. С. 9–13.
9. Колесников Б.П. Леса Свердловской области // Леса СССР. М.: Наука, 1969. Т. 4. С. 64–124.
10. Козлова Л.М., Блиев Ю.К. О реакции сеянцев сосны и ели на уплотнение почвы // Лесоведение. 1974. № 4. С. 42–49.
11. Никонов М.В. Лесоводственная оценка рубок с применением ЛП-2 и ТБ-1 // Лесн. хоз-во. 1978. № 1. С. 36–37.
12. Петров В.С. Очерки о развитии лесной промышленности Урала. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 148 с.
13. Побединский А.В. Способы рубок и восстановление леса в зональном разрезе // Экономическая география лесных ресурсов СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1978. С. 145–166.
14. Ручин Е.П. Ширина пасек и сохранность подроста в ельниках Коми АССР // Лесн. хоз-во. 1966. № 6. С. 71–72.
15. Теринов Н.И. Из истории вопроса о сохранении подроста при рубке леса на Урале // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: УралЛОС ВНИИЛМ, 1968. Вып. 2. С. 93–95.
16. Теринов Н.И. К истории правил рубок главного пользования в горных лесах Урала // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: УралЛОС ВНИИЛМ, 1969. Вып. 3. С. 53–59.
17. Теринов Н.И. Возобновление ели на концентрированных вырубках 1929–1931 гг. в хвойно-широколиственных лесах Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них. Свердловск: УралЛОС ВНИИЛМ, 1970. Вып. 5. С. 107–109.
18. Теринов Н.И. Некоторые сведения о сохранении подроста при рубках леса в XVIII в. // Лесн. хоз-во. 1973. № 4. С. 85.
19. Теринов Н.И. Лесной фонд Свердловской области и его динамика // Интенсификация лесного хозяйства на Урале. Свердловск, 1978. Вып. 118. С. 9–15.
20. Теринов Н.И. Естественное возобновление хвойных пород на сплошных вырубках // Проблемы рационального использования, воспроизводства и экологического мониторинга лесов. Свердловск: Институт леса УрО АН СССР, 1991. С. 149–151.
20. Теринов Н.И., Терин А.А. Лесной многоцелевой малогабаритный трактор // Лесн. хоз-во. 2008. № 6. С. 34–35.
22. Трус М.В., Чумин В.Т. О технологии лесосечных работ с применением бесчечерных машин // Лесн. хоз-во. 1978. № 1. С. 31–35.
23. Чертовской В.Г. Естественное возобновление леса в таежной зоне европейской части СССР // Лесн. хоз-во, 1972. № 5. С. 11–17.

Поступила 15.05.15

UDC 630\*377; 630\*231  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.81

### Development of Logging Technology in the Urals

*N.N. Terinov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

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

*Yu.N. Bezgina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy Trakt, 37, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: n\_n\_terminov@mail.ru, gerz.e@mail.ru

This article retrospectively examines the formation and development of the logging industry in the Urals region. Against the background of the technological progress, which can be divided into three stages, we can monitor the connection of the corresponding techniques and technologies of logging and the forest forming process in the felling. Some facts of the normative and organizational nature in the field of forest management are mentioned, allowing us to connect the interests of forestry and timber exploitation. The first stage (from the beginning of the industrial development of the forests and up to 1930) was characterized by the clear cuttings and timber hauling by the animal transport. In this period the need to maintain the pre-coniferous undergrowth in the process of logging activities and its role in shaping the future plantations were acknowledged. The second stage (1930–1970) was associated with the logging choker tractors. At this period the methods of cutting and harvesting technologies were aimed towards the conservation and reproduction of coniferous plantations. So, the narrow-strip technology of development of cutting areas with skidding whip for the top ensured the safety of pre-coniferous undergrowth up to 80 % in the blocks from its initial amount in the stand. The simplified strip (P.V. Alekseev) and long-gradual (A.V. Pobedinskiy) felling were developed and used. The third stage started in the beginning of the 1970s and was associated with the emergence of the multioperational logging machines. The new equipment enhanced the productivity, and also increased the track areas by 27 ... 58 % and attrition of the undersized trees by 16 ... 23 %. The literature data show a manifold increase in the intensity of water erosion after the use of heavy logging machinery compared to the intact areas and its negative impact on some other hydrological properties of the forest soils. The paper suggests developing a class of specialized compact equipment, capable of providing the selective logging under the forest canopy.

*Keywords:* logging, harvesting technique, conservation of forest environment and undergrowth.

### REFERENCES

1. Alekseev P.V. *Cherespolosno- i koridorno-pasechnye rubki v elovo-listvennykh drevostoyakh* [Alternate Strip Felling and Corridor Thinning in the Spruce-Hardwood Stands]. Yoshkar-Ola, 1967. 118 p.
2. Anisimov P.M. Sokhrannost' podrosta pri razlichnykh sposobakh zagotovki lesa [Preservation of Undergrowth at Various Ways of Logging]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1966, no. 3, pp. 24–25.
3. Baytin A.A. Kratkiy obzor istorii khozyaystva v Lisinskom lesnom massive [A Brief Overview of the History of Farming in Lisino Woodland]. *Priroda i khozyaystvo uchebnykh*

*lespromkhozov Lesotekhnicheskoy akademii* [Nature and Agriculture of the Educational Logging Enterprises of Forestry Academy]. Moscow; Leningrad, 1931, no. 3, pp. 163–189.

4. Danilik V.N. Vliyanie tekhniki i tekhnologii lesozagotovok na vodookhrannozashchitnye funktsii lesa [Influence of Technique and Technology of Harvesting on Water Protective Functions of Forests]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1979, no 2, pp. 24–26.

5. Danilik V.N., Komissarova L.A. Vyborochnye i postepennye rubki v Kusinskom lespromkhoze [Selective and Gradual Fellings in the Kusinsk Logging Enterprises]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1963, no. 12, pp. 29–32.

6. Danilik V.N., Makarenko G.P., Murzaeva M.K., Terinov N.N., Tolkach O.V. Vliyanie lesozagotovitel'nykh rabot na lesnyuyu sredyu i vozobnovlenie v lesakh Srednego Urala [The Influence of Loggings on Forest Environment and Reforestation in the Forests of the Middle Urals]. *Problemy lesovosstanovleniya v gornykh lesakh* [Reforestation Problems in the Mountain Forests]. Moscow, 1984, pp. 23–28.

7. *Instruktsiya po organizatsii lesosechnykh rabot pasechnym sposobom s primeneniem mnogooperatsionnykh mashin* [Instruction of the Logging Operations Organization by the Strip Method Using the Multioperational Machines]. Sverdlovsk, 1981. 13 p.

8. Kishchenko G.N. Mekhanizirovannye postepennye i vyborochnye rubki v lesakh I i II grupp [Mechanized Gradual and Selective Fellings in the Forests of the I and II Groups]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1964, no. 2, pp. 9–13.

9. Kolesnikov B.P. Lesa Sverdlovskoy oblasti [Forests of Sverdlovsk Region]. *Lesy SSSR* [Forests of the USSR]. Moscow, 1969, vol. 4, pp. 64–124.

10. Kozlova L.M., Bliiev Yu.K. O reaktsii seyantsev sosny i eli na uplotnenie pochvy [On the Reaction of the Pine and Spruce Seedlings on the Soil Consolidation]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1974, no. 4, pp. 42–49.

11. Nikonov M.V. Lesovodstvennaya otsenka rubok s primeneniem LP-2 i TB-1 [Silvicultural Assessment of Cuttings Using the LP-2 and TB-1]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1978, no. 1, pp. 36–37.

12. Petrov V.S. *Ocherki o razvitiy lesnoy promyshlennosti Urala* [Essays on the Development of the Forest Industry in the Urals]. Moscow; Leningrad, 1952. 148 p.

13. Pobedinskiy A.V. Sposoby rubok i vosstanovlenie lesa v zonal'nom razreze [Methods of Cutting and Reforestation in the Context of Zonal Economic Geography]. *Ekonomicheskaya geografiya lesnykh resursov SSSR* [Economic Geography of the Forest Resources of the USSR]. Moscow, 1978, pp. 145–166.

14. Ruchin E.P. Shirina pasek i sokhrannost' podrosta v el'nikakh Komi ASSR [The Width of the Plots and Preservation of the Undergrowth in the Spruce Forests of the Komi ASSR]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1966, no. 6, pp. 71–72.

15. Terinov N.I. Iz istorii voprosa o sokhraneni podrosta pri rubke lesa na Urale [Glimpses of History of the Issue of the Undergrowth Conservation at Felling in the Urals]. *Lesy Urala i khozyaystvo v nikh*, 1968, no. 2, pp. 93–95.

16. Terinov N.I. K istorii pravil rubok glavnogo pol'zovaniya v gornykh lesakh Urala [On the History of the Rules of Final Fellings in the Mountain Forests of the Urals]. *Lesy Urala i khozyaystvo v nikh*, 1969, no. 3, pp. 53–59.

17. Terinov N.I. Vozobnovlenie eli na kontsentrirovannykh vyrubkakh 1929–1931 gg. v khvoyno-shirokolistvennykh lesakh Srednego Urala [Reforestation of the Spruce Species on the Concentrated Fellings in 1929–1931 in the Coniferous-Deciduous Forest Stands of the Middle Urals]. *Lesy Urala i khozyaystvo v nikh*, 1970, no. 5, pp. 107–109.

18. Terinov N.I. Nekotorye svedeniya o sokhraneni podrosta pri rubkakh lesa v XVIII veke [Some Information of the Undergrowth Preservation at Logging in the XVIII Century]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1973, no. 4, p. 85.
19. Terinov N.I. Lesnoy fond Sverdlovskoy oblasti i ego dinamika [Forest Fund of Sverdlovsk Region and Its Dynamics]. *Intensifikatsiya lesnogo khozyaystva na Urale* [Intensification of Forestry in the Ural Region]. Sverdlovsk, 1978, no. 118, pp. 9–15.
20. Terinov N.N. Estestvennoe vozobnovlenie khvoynykh porod na sploshnykh vyrubkakh [Natural Regeneration of Conifers at Clearcuts]. *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya, vosproizvodstva i ekologicheskogo monitoringa lesov* [Problems of Rational Use, Reproduction and Environmental Monitoring of the Forests]. Sverdlovsk, 1991, pp. 149–151.
21. Terinov N.N., Terin A.A. Lesnoy mnogotselovoy malogabaritnyy traktor [Forest Multipurpose Compact Tractor]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2008, no. 6, pp. 34–35.
22. Trus M.V., Chumin V.T. O tekhnologii lesosechnykh rabot s primeneniem beschekernykh mashin [On the Technology of Logging Activities Using the Chokerless Machines]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1978, no. 1, pp. 31–35.
23. Chertovskoy V.G. Estestvennoe vozobnovlenie lesa v taezhnoy zone evropeyskoy chasti SSSR [Forest Natural Regeneration in the Taiga Zone of the European Part of the USSR]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1972, no. 5, pp. 11– 17.

Received on May 15, 2015

---

---



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.91

**НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ,  
ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ОБРЕЗНЫМИ СТАНКАМИ**

*С.П. Агеев, д-р техн. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;  
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Нормирование удельных расходов энергии на деревообрабатывающих предприятиях строится в соответствии с расчленением производства, с одной стороны, на отдельные операции и процессы по видам производимой продукции, с другой – на отдельные участки (агрегаты, цехи, предприятие в целом). В соответствии с этим различают операционные удельные нормы по отдельным операциям и суммарные удельные нормы по отдельным производственным процессам. Целью настоящей статьи явилось изложение подхода к установлению операционной нормы удельного расхода электроэнергии на выполнение операций обрезки досок на обрезных станках, которые применяются в лесопильном производстве для продольной обрезки кромок у необрезных досок и горбылей. Исследования энергетических свойств электропривода обрезного станка проводятся в направлении, при котором потери и полезное потребление энергии определяются через некоторые коэффициенты потерь и производительность агрегата. В ходе исследований получены аналитические зависимости между потребляемой мощностью, удельным потреблением электроэнергии и производительностью механизма резания обрезного станка, получившие название энергетических характеристик. Используемый метод позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и др. Наличие энергетических характеристик позволит более качественно подойти к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. Установлено, что энергетическая характеристика потребляемой мощности обрезных станков носит линейный характер, удельного расхода электроэнергии – нелинейный. Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное электропотребление обрезных станков.

*Ключевые слова:* обрезной станок, производительность, энергетическая характеристика, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, потери электроэнергии.

*Введение*

Нормирование расходов электроэнергии на предприятиях используют для решения важных задач эксплуатации электрохозяйства. Эти задачи условно можно разбить на две группы:

прогнозирование режимов электропотребления предприятия в целом или отдельного цеха (участка, производства), составление электробалансов;

контроль эффективности использования электроэнергии в конкретном технологическом процессе, на единице оборудования и др.

В зависимости от цели расчета нормы расходов электроэнергии разделяют по периоду действия (годовые, квартальные, месячные и др.), степени агрегации (индивидуальные, групповые) и составу расхода (технологические, общепроизводственные).

Индивидуальной называют норму расхода электроэнергии на производство единицы продукции (работ), устанавливаемую по типам или отдельным агрегатам (технологическим схемам) применительно к определенным технологическим условиям.

Групповой является норма, установленная по группе предприятий отрасли на производство единицы одноименной продукции (работы) в стандартных условиях производства.

Технологическая норма учитывает расход электрической энергии на основные и вспомогательные процессы производства данного вида продукции (работы), расход на поддержание технологических агрегатов в горячем резерве, их разогрев и пуск после текущих ремонтов и холодных простоев, а также технически неизбежные потери электроэнергии при работе оборудования.

Нормирование удельных расходов энергии на деревообрабатывающих предприятиях строится в соответствии с расчленением производства, с одной стороны, на отдельные операции и процессы по видам производимой продукции, с другой – на отдельные участки (агрегаты, цехи, предприятие в целом) [4].

Целью настоящей статьи явилось изложение подхода к установлению индивидуальной нормы удельного расхода электроэнергии на выполнение операций обрезки досок на обрезных станках, которые применяются в лесопильной производстве для продольной обрезки кромок у необрезных досок и горбылей [9].

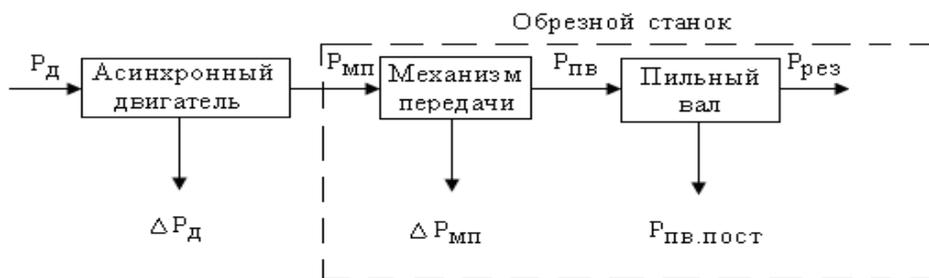
*Методика проведения исследования*

Исследования энергетических свойств механизмов с электроприводом можно проводить по двум принципиально различным направлениям.

При первом направлении потери энергии определяются через коэффициент полезного действия, который изменяется в функции нагрузки на валу приводного двигателя. Способы измерения этой нагрузки могут быть различными, но при этом всегда требуется соответствующее аппаратное сопровождение, так как непосредственно в производственных условиях нагрузка на валу обычно не измеряется.

При втором направлении, предложенном чл.-корр. РАН В.И. Вейцем, потери и полезное потребление энергии определяются через некоторые коэффициенты потерь и производительность агрегата. В результате получают аналитические зависимости между потребляемой мощностью или удельным потреблением электроэнергии и производительностью исследуемого механизма, получившие название энергетических характеристик [1–3]. В настоящей статье используется второй метод, так как он позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и др.

Механизм резания обрезающего станка включает в себя пильный вал с круглыми пилами, подвижный и неподвижный суппорты, клиноременную передачу и привод с асинхронным двигателем. На рисунке показана структурная схема передачи мощности в электроприводе механизма резания.



Структурная схема передачи мощности

Подведенная к пильному валу мощность  $P_{пв}$  содержит две составляющие:

переменную (полезную) мощность резания  $P_{рез}$ , кВт;

постоянную мощность  $P_{пв.пост}$  потерь энергии, кВт.

Таким образом,

$$P_{пв} = P_{рез} + P_{пв.пост} = c_{пв}A + P_{пв.пост}, \quad (1)$$

где  $c_{пв}$  – удельная величина переменных расходов энергии пильного вала на единицу продукции, кВт · ч/м<sup>3</sup>;

$A$  – производительность обрезающего станка, м<sup>3</sup>/ч.

У прямолинейных характеристик подведенной мощности параметр  $c_{пв}$  является вместе с тем и так называемым частичным удельным расходом энергии, или относительным приростом, т. е. отношением бесконечно малого приращения подведенной мощности к бесконечно малому приращению нагрузки (производительности) – первой производной подведенной мощности по нагрузке [5].

Параметр  $P_{пв.пост}$  представляет собой мощность постоянных потерь энергии пильного вала, не зависящих от производительности станка.

При этом

$$P_{\text{пв.пост}} = \alpha P_{\text{хх}},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий увеличение мощности на преодоление трения под нагрузкой станка,  $\alpha = 1,1$ ;

$P_{\text{хх}}$  – мощность холостого хода.

Мощность холостого хода зависит от силы трения в подшипниках. Сила трения пропорциональна инерционной силе и зависит от коэффициента трения. Для приближенных расчетов можно воспользоваться следующей формулой:

$$P_{\text{хх}} = G_{\text{пв}} v_{\text{рез}},$$

где  $G_{\text{пв}}$  – вес пильного вала вместе с пилами,  $H$ ;

$v_{\text{рез}}$  – скорость резания, м/с.

Скорость резания при пилении круглой пилой определяют как геометрическую сумму скоростей главного движения и подачи:

$$v_{\text{рез}} = \sqrt{v_{\Gamma}^2 + u^2 + 2v_{\Gamma}u \cos \varphi},$$

где  $v_{\Gamma}$  – скорость главного движения, м/с;

$u$  – скорость подачи доски, м/с;

$\varphi$  – угол между векторами скоростей  $v_{\Gamma}$  и  $u$ .

У современных круглопильных станков скорость главного движения во много раз превышает скорость подачи, поэтому можно считать, что  $v_{\text{рез}} = v_{\Gamma}$  [7]. Тогда

$$v_{\text{рез}} = v_{\Gamma} = \frac{\pi D_{\text{п}} n}{60 \cdot 1000},$$

где  $D_{\text{п}}$  – диаметр пилы, м;

$n$  – частота вращения пильного вала, об/мин.

При номинальной производительности  $A_{\text{ном}}$  обрезающего станка мощность, подводимая к пильному валу, имеет номинальное значение

$$P_{\text{пв.ном}} = c_{\text{пв}} A_{\text{ном}} + P_{\text{пв.пост}}.$$

Определим первое слагаемое, входящее в формулу (1), используя одну из методик расчета мощности резания. Введем следующие обозначения:

$V_1$  – объем древесины, превращаемый в опилки за 1 с, м<sup>3</sup>/с;

$K$  – удельная работа продольного пиления круглой пилой для расчетных условий резания, Дж/м<sup>3</sup>;

$B_{\text{пр}}$  – ширина пропила, м;

$H_{\Sigma}$  – суммарная высота пропила, м.

В нашем случае мощность резания может быть вычислена по «объемной» формуле:

$$P_{\text{рез}} = KV_1 = KB_{\text{пр}}H_{\Sigma}u. \quad (2)$$

Удельная работа  $K$  определяется как произведение удельной работы  $K_{\Gamma}$  при нормированных (табличных) условиях резания на общий поправочный коэффициент  $a_{\text{попр}}$ , учитывающий отличие расчетных условий от нормированных:

$$K = K_{\Gamma} a_{\text{попр}}. \quad (3)$$

В случае пиления круглой пилой

$$a_{\text{попр}} = a_{\text{п}} a_w a_{\rho} a_{\delta} a_v a_t. \quad (4)$$

Здесь  $a_{\text{п}}$ ,  $a_w$ ,  $a_{\rho}$ ,  $a_{\delta}$ ,  $a_v$ ,  $a_t$  – коэффициенты, учитывающие соответственно плотность и влажность древесины, затупление резцов и угол их резания, скорость резания, глубину обработки.

Числовые значения поправочных коэффициентов найдены по результатам экспериментов и приведены в таблицах [7].

Сумма высот всех пропилов

$$H_{\Sigma} = hZ_{\text{п}}, \quad (5)$$

где  $h$  – толщина заготовки, м;

$Z_{\text{п}}$  – число пил в станке (обычно  $Z_{\text{п}} = 2$ ).

Производительность обрезного станка

$$A = \frac{uV_{\text{д}}}{L}.$$

Здесь  $V_{\text{д}}$  – объем доски, м<sup>3</sup>;

$L$  – длина доски, м.

Представляя доску как параллелепипед, ее объем вычисляют по формуле

$$V_{\text{д}} = hLb_{\text{д}},$$

где  $b_{\text{д}}$  – ширина доски, м.

Тогда производительность станка

$$A = uhb_{\text{д}},$$

откуда

$$h = \frac{A}{b_{\text{д}}u}. \quad (6)$$

Подставляя (3) – (6) в (2), получаем выражение для мощности резания:

$$P_{\text{рез}} = K_{\text{т}} a_{\text{попр}} B_{\text{пр}} H_{\Sigma} u = K_{\text{т}} a_{\text{попр}} B_{\text{пр}} \frac{Z_{\text{п}}}{b_{\text{д}}} A = c_{\text{пв}} A.$$

Анализ полученной зависимости показывает, что частичный удельный расход энергии  $c_{\text{пв}}$  в значительной степени зависит от фактических условий резания древесины (толщины срезаемого слоя, степени затупления резцов, плотности и влажности древесины).

Для того, чтобы найти функциональную зависимость между мощностью, потребляемой приводным двигателем из сети, и производительностью обрезного станка, необходимо учесть потери мощности в электроприводе, т. е. в передаточном механизме (МП) и электродвигателе. Привод механизма резания осуществляется от асинхронного двигателя через клиноременную передачу.

Коэффициенты потерь в МП можно определить по его номинальному коэффициенту полезного действия:

$$\eta_{\text{мп.ном}} = \frac{1}{1 + a_{\text{мп}} + b_{\text{мп}}},$$

откуда

$$a_{МП} + b_{МП} = \frac{1 - \eta_{МП.НОМ}}{\eta_{МП.НОМ}}.$$

Зная соотношение между коэффициентами потерь в передаточном механизме

$$\chi_{МП} = \frac{a_{МП}}{b_{МП}},$$

можно найти значение каждого из них. Для простых кинематических схем примем  $\chi_{МП} = 1$ , откуда

$$a_{МП} = b_{МП} = \frac{1 - \eta_{МП.НОМ}}{2\eta_{МП.НОМ}}.$$

Тогда мощность, подводимая к механизму передачи:

$$P_{МП} = P_{ПВ} + \Delta P_{МП.ПЕР} + \Delta P_{МП.ПОСТ} = P_{ПВ}(1 + b_{МП}) + a_{МП}P_{ПВ.НОМ}.$$

Учитывая (1), составим уравнение мощности, подводимой к механизму резания обрезаемого станка:

$$\begin{aligned} P_{МП} &= P_{ПВ}(1 + b_{МП}) + a_{МП}P_{ПВ.НОМ} = \\ &= (c_{ПВ}A + P_{ПВ.ПОСТ})(1 + b_{МП}) + a_{МП}P_{ПВ.НОМ} = \\ &= (1 + b_{МП})c_{ПВ}A + (1 + b_{МП})P_{ПВ.ПОСТ} + a_{МП}P_{ПВ.НОМ} = \\ &= (1 + b_{МП})c_{ПВ}A + (1 + b_{МП})\alpha P_{ХХ} + a_{МП}P_{ПВ.НОМ}, \end{aligned}$$

или

$$P_{МП} = c_{МР}A + P_{МП.ПОСТ}, \quad (7)$$

где  $c_{МР}$  – частичный удельный расход энергии механизма резания станка, кВт·ч/м<sup>3</sup>;

$P_{МП.ПОСТ}$  – суммарная мощность постоянных потерь энергии в обрезаемом станке,

$$P_{МП.ПОСТ} = (1 + b_{МП})\alpha P_{ХХ} + a_{МП}P_{ПВ.НОМ}P_{МП.ПОСТ}.$$

Уравнение (7) дает возможность проанализировать влияние технических параметров станка на процесс потребления мощности механизмом резания.

Для определения коэффициентов потерь в асинхронном двигателе необходимо также знать его номинальный коэффициент полезного действия  $\eta_{Д.НОМ}$  и соотношение потерь:

$$\chi_{Д} = \frac{\Delta P_{Д.ПОСТ}}{\Delta P_{Д.ПЕР.НОМ}} = \frac{a_{Д}}{b_{Д}},$$

где  $\Delta P_{Д.ПОСТ}$  – постоянные потери мощности в двигателе;

$\Delta P_{Д.ПЕР.НОМ}$  – переменные потери мощности при номинальной нагрузке.

Тогда

$$a_d + b_d = \frac{1 - \eta_{д.ном}}{\eta_{д.ном}}.$$

Следует также учесть, что номинальной нагрузкой двигателя будет номинальная мощность станка. Таким образом, номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{д.ном} = P_{мп.ном} = P_{пв.ном}(1 + a_{мп} + b_{мп}). \quad (8)$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети при произвольной нагрузке, может быть вычислена по аналогии с (8) по следующему выражению:

$$P_d = P_{мп.ном}[\gamma_{мп}(1 + b_d) + a_d], \quad (9)$$

где  $\gamma_{мп}$  – коэффициент загрузки механизма передачи,  $\gamma_{мп} = P_{мп}/P_{мп.ном}$ .

Из (9) может быть найдена зависимость мощности, потребляемой из сети, от производительности обрезающего станка. Действительно,

$$\begin{aligned} P_d &= P_{мп.ном}[\gamma_{мп}(1 + b_d) + a_d] = P_{мп}(1 + b_d) + a_d P_{мп.ном} = \\ &= (1 + b_d)(c_{мп}A + P_{мп.пост}) + a_d P_{мп.ном} = \\ &= (1 + b_d)c_{мп}A + (1 + b_d)P_{мп.пост} + a_d P_{мп.ном}, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} P_d &= (1 + b_d)(1 + b_{мп})c_{пв}A + (1 + b_d)[(1 + b_{мп})\alpha P_{хх} + a_{мп}P_{пв.ном}] + \\ &+ a_d P_{д.ном} = (1 + b_d)(1 + b_{мп})c_{пв}A + (1 + b_d)(1 + b_{мп})\alpha P_{хх} + \\ &+ [(1 + b_d)a_{мп}\eta_{мп.ном} + a_d]P_{д.ном}. \end{aligned}$$

Окончательно получим

$$P_d = c_d V_c + P_{д.пост}, \quad (10)$$

где  $c_d$  – частичный удельный расход электроэнергии электропривода обрезающего станка, кВт·ч/м<sup>3</sup>;

$V_c$  – производительность станка;

$P_{д.пост}$  – постоянная составляющая потребляемой мощности, характеризующая непроизводительный расход энергии, кВт.

Поделив выражение (10) на  $V_c$ , получим уравнение энергетической характеристики удельного расхода энергии электропривода обрезающего станка:

$$d = c_d + \frac{P_{д.пост}}{V_c}. \quad (11)$$

Пример. Рассчитать энергетические характеристики обрезающего станка модели Ц2Д-5А при обрезке досок, поступающих от лесопильной рамы второго ряда. Технические характеристики станка и обрабатываемого материала представлены в табл.1 и 2.

Таблица 1

## Технические характеристики станка

Характеристика	Значение
Номинальная мощность двигателя вала $P_{д.ном}$ , кВт	40
КПД двигателя $\eta_{д.ном}$	0,91
КПД клиноременной передачи $\eta_{мп.ном}$	0,96
Частота вращения пильного вала $n$ , об/мин	2860
Вес пильного вала вместе с пилами $G_{пв}$ , Н	294,3
Скорость подачи $u$ , м/мин	120
Толщина пил $s$ , мм	2,2
Диаметр пил $D_{п}$ , мм	300
Число пил $Z_{п}$	2
Число зубьев пилы $Z_3$	36
Развод зубьев пилы $\Delta S$ , мм	0,6
Угол резания, град	60
Высота подъема стола над осью пильного вала $h_{цп}$ , мм	90

Таблица 2

## Характеристики обрабатываемого материала – ели

Характеристика	Значение
Поправочный множитель на породу древесины $a_{п}$	0,95
Поправочный множитель на затупление резцов $a_{р}$	1,2
Поправочный множитель на угол резания $a_{\delta}$	1,0
Поправочный множитель на скорость резания $a_v$	1,0
Поправочный множитель на глубину обработки $a_t$	1,0
Поправочный множитель на влажность древесины $a_w$	0,9
Толщина доски $h$ , мм	16
Ширина доски, мм	125; 75

Обрезной станок установлен в рамном потоке, на котором осуществляется распиловка бревен с брусковой лесопильными рамами 2Р75-1/2 (частота вращения вала 325 об/мин). Распиловка бревен выполняется пилами толщиной 2,2 мм с шагом зубьев 26 мм. На распиловку поступает хвойный (ель) пиловочник диаметром 22 см, средняя длина 6 м. Схемы раскроя сортиментов: 16-25-150-25-16 (1-й проход), 16-16-44-44-44-16-16 (2-й проход).

## Решение

1. Расчет часовой производительности лесопильного потока  $A_{п}$  выполняем согласно методике, изложенной в [6]. В результате получаем  $A_{п} = 26,61 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

2. Расчет часовой производительности обрезного станка проводим с использованием работы [8], где приведен пример расчета поставка при распиловке бревен рассматриваемого диаметра по указанной схеме (табл. 3).

Таблица 3

## Результаты расчета

Постав		Номинальные размеры досок		Объем одной доски, м <sup>3</sup>	Общий объем пиломатериалов	
Количество досок	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, м		м <sup>3</sup>	%
2	16	125	5,75	0,0115	0,0230	8,22
2	16	75	3,50	0,0042	0,0084	3,00

Суммарный объем необрезных досок, поступающих к данному станку, равен 0,0314 м<sup>3</sup>, что составляет 11,22 % объема бревна. Расчетная производительность обрезающего станка при обрезке досок из бревен данного диаметра

$$A_c = 0,1122 A_{\Pi} = 0,1122 \cdot 26,61 = 2,99 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Скорость резания

$$v_{\text{РЕЗ}} = \frac{\pi D_{\Pi} n}{60000} = \frac{3,14 \cdot 300 \cdot 2860}{60000} = 44,92 \text{ м/с}.$$

4. Подача на один зуб

$$S_z = \frac{1000u}{nZ_3} = \frac{1000 \cdot 120}{2860 \cdot 36} = 1,166 \text{ мм}.$$

5. Общий поправочный коэффициент на фактические условия резания

$$a_{\text{ПОПР}} = a_{\Pi} a_w a_{\rho} a_{\delta} a_v a_t = 0,95 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,026.$$

6. Угол входа зубьев пилы в древесину

$$\varphi_{\text{ВХ}} = \arccos \frac{2(h_{\text{ЦП}} + h)}{D_{\Pi}} = \arccos \frac{2(90 + 16)}{300} = 50,0^\circ.$$

7. Угол выхода зубьев пилы из древесины

$$\varphi_{\text{ВЫХ}} = \arccos \frac{h_{\text{ЦП}}}{R_{\Pi}} = \arccos \frac{90}{150} = 59,0^\circ.$$

8. Средний угол

$$\varphi_{\text{СР}} = \frac{\varphi_{\text{ВХ}} + \varphi_{\text{ВЫХ}}}{2} = \frac{50,0 + 59,0}{2} = 54,5^\circ.$$

9. Толщина срезаемого слоя в средней точке контакта зуба с древесиной

$$a_{\text{СР}} = S_z \sin \varphi_{\text{СР}} = 1,166 \cdot 0,755 = 0,881 \text{ мм}.$$

10. Ширина пропила

$$B_{\text{ПР}} = s + 2\Delta s = 2,2 + 2 \cdot 0,6 = 3,4 \text{ мм}.$$

11. Суммарная высота пропила

$$H_{\Sigma} = hZ_{\Pi} = 16 \cdot 2 = 32,0 \text{ мм}.$$

12. Удельная работа резания при нормированных условиях  $K_T$  определяется по толщине срезаемого слоя по специальным таблицам [7]. В нашем случае

$$K_T = 38000 \text{ кДж/м}^3.$$

13. Мощность холостого хода

$$P_{\text{ХХ}} = \frac{G_{\text{ПВ}} v_{\text{РЕЗ}}}{1000} = \frac{294,3 \cdot 44,92}{1000} = 13,22 \text{ кВт.}$$

14. Мощность постоянных потерь энергии в пильном валу

$$P_{\text{ПВ.ПОСТ}} = 1,1 P_{\text{ХХ}} = 1,1 \cdot 13,22 = 14,54 \text{ кВт.}$$

15. Средняя ширина обрезаемой доски

$$b_{\text{Д.СР}} = \frac{\sum V_{\text{Ди}}}{\sum m_i l_{\text{Ди}} h_i} = \frac{31400}{2 \cdot 5,75 \cdot 16 + 2 \cdot 3,5 \cdot 16} = 106,08 \text{ мм.}$$

16. Частичный удельный расход энергии, подводимой к пильному валу,

$$c_{\text{ПВ}} = K_{\text{T}} a_{\text{ПОПР}} B_{\text{ПР}} \frac{Z_{\text{П}}}{b_{\text{Д.СР}}} = 38\,000 \cdot 1,026 \cdot 3,4 \frac{2}{106,1} = 2\,498,8 \text{ кДж/м}^3,$$

или  $c_{\text{ПВ}} = 0,6941 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$ .

17. Коэффициенты потерь энергии в клиноременной передаче

$$a_{\text{МП}} = b_{\text{МП}} = \frac{1 - \eta_{\text{МП.НОМ}}}{2\eta_{\text{МП.НОМ}}} = \frac{1 - 0,96}{2 \cdot 0,96} = 0,0208.$$

18. Коэффициенты потерь энергии в двигателе находим по соотношению потерь, которое для данного двигателя  $\chi_{\text{Д}} = 0,5$  [4].

Тогда

$$b_{\text{Д}} = \frac{1 - \eta_{\text{Д.НОМ}}}{1,5 \eta_{\text{Д.НОМ}}} = \frac{1 - 0,91}{1,5 \cdot 0,91} = 0,0659;$$

$$a_{\text{Д}} = \chi_{\text{Д}} b_{\text{Д}} = 0,5 \cdot 0,0659 = 0,033.$$

19. Частичный удельный расход электроэнергии электропривода станка

$$c_{\text{Д}} = (1 + b_{\text{Д}})(1 + b_{\text{МП}})c_{\text{ПВ}} = (1 + 0,0659) \cdot (1 + 0,0208) \cdot 0,6941 = 0,7552 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

20. Постоянная составляющая потребляемой двигателем мощности

$$P_{\text{Д.ПОСТ}} = (1 + b_{\text{Д}})(1 + b_{\text{МП}})P_{\text{ПВ.ПОСТ}} + [(1 + b_{\text{Д}})a_{\text{МП}}\eta_{\text{МП.НОМ}} + a_{\text{Д}}]P_{\text{Д.НОМ}} = \\ = (1 + 0,0659) \cdot (1 + 0,0208) \cdot 14,54 + \\ + [(1 + 0,0659) \cdot 0,0208 \cdot 0,96 + 0,033]40 = 17,99 \text{ кВт.}$$

21. Мощность, потребляемая двигателем из сети при данной производительности,

$$P_{\text{Д}} = c_{\text{Д}} V_{\text{С}} + P_{\text{Д.ПОСТ}} = 0,7552 \cdot 2,99 + 17,99 = 20,25 \text{ кВт.}$$

22. Полный удельный расход электроэнергии электропривода станка, отнесенный к производительности лесопильного потока,

$$d = c_{\text{Д}} \frac{A_{\text{С}}}{A_{\text{П}}} + \frac{P_{\text{Д.ПОСТ}}}{A_{\text{П}}} = 0,7552 \cdot \frac{2,99}{26,61} + \frac{17,99}{26,61} = 0,761 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

В то же время полный удельный расход электроэнергии, отнесенный к производительности обрезаемого станка,

$$d = c_{\text{Д}} + \frac{P_{\text{Д.ПОСТ}}}{A_{\text{С}}} = 0,7552 + \frac{17,99}{2,96} = 6,833 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

Выполняя аналогичные расчеты, можно рассчитать производительность, потребляемую мощность и удельный расход электроэнергии и для других диаметров распиливаемого сырья и поставов.

#### *Выводы*

В результате исследований установлено, что энергетическая характеристика потребляемой мощности обрезных станков носит линейный, а удельного расхода электроэнергии – нелинейный характер. Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное электропотребление обрезных станков. Наличие энергетических характеристик позволит более качественно подойти к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производства в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма окорки роторного окорочного станка // Лесн. журн. 2007. № 3. С. 93–99. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. №1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Алексин М.В., Синев В.С., Пижурин П.А., Коперин И.Ф., Головков С.И., Павлюк В.А.* Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с.
5. *Гофман И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. М.: Энергия, 1966. 319 с.
6. Инструкция по расчету производственной мощности лесопильного предприятия. Архангельск: Изд-во ЦНИИМОД, 1986. 65 с.
7. *Любченко В.И.* Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
8. *Рыкунин С.Н., В.Е. Пятков.* Методы составления и расчета поставов: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2002. 69 с.
9. *Рыкунин С.Н., Тюкина Ю.П., Шалаев В.С.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие для вузов. 3-е изд. М.: МГУЛ, 2007. 225 с.

Поступила 29.12.14

UDC 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.91

#### **Rationing of Electricity Consumed by a Cutting Machine**

*S.P. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;  
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

The limitation of specific power consumption in the woodworking enterprises is being constructed in accordance with the decomposition of the production process: certain operations and processes by type of products and some parts (units, shops, an enterprise in general).

Accordingly, there are the operating specific power requirements for individual processes and total specific power requirements for individual production processes. The aim of the paper was the approach of establishing of the operating rules of specific energy consumption to perform the cutting operations on cutting machines, which are used in the production of sawn timber for longitudinal edging of unsquared boards and slabs. The research of the energetic properties of the electric drive of a cutting machine are conducted in the direction in which the loss and useful energy consumption are determined through some loss rates and performance of the unit. In the study the analytical relationship between power consumption, specific power consumption and productivity of a mechanism of a cutting machine, known as the energy characteristics, are obtained. The used method allows us to express the net load to the unit through productivity – an indicator, which practically reflects the results of the unit, site, department, etc. Planning of specific energy consumption for each standard size of assortments and production is solved more efficiently with the help of the power characteristics. The energy consumption characteristics of a cutting machine is linear, the nature of the specific energy consumption is non-linear. The basic technological factors and parameters of equipment and raw materials affecting the specific power consumption of the cutting machines are identified.

*Keywords:* cutting machine, productivity, energy characteristic, power consumption, specific energy consumption, electric power losses.

#### REFERENCES

1. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma okorki rotornogo okorochnogo stanka [Energy Characteristics of the Device Electrical Drive of Barking of a Cambium-Shear Debarker]. *Lesnoy zhurnal*, 2007, no. 3, pp. 93–99.
2. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energy Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 95–100.
3. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energy Characteristic of the Electric Drive of the Cutting Mechanism of a Saw Frame]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 96–101.
4. Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkov S.I., Pavlosyuk V.A. *Ekonomiya energoresursov v lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Energy Savings in Forestry and Wood Industry]. Moscow, 1982. 216 p.
5. Gofman I.V. *Normirovanie potrebleniya energii i energeticheskie balansy promyshlennykh predpriyatiy* [Rationing of Energy Consumption and Energy Balances of Industrial Enterprises]. Moscow, 1966. 319 p.
6. *Instruktsiya po raschetu proizvodstvennoy moshchnosti lesopil'nogo predpriyatiya* [Instructions on Calculation of Production Capacity of the Sawmill Enterprise]. Arkhangelsk, 1986. 65 p.
7. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesyiny i drevesnykh materialov* [Cutting of Wood and Wood Materials]. Moscow, 1986. 296 p.
8. Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Metody sostavleniya i rascheta postavov* [Methods of Preparation and Calculation of Supply]. Moscow, 2002. 69 p.
9. Rykunin S.N., Tyukina Yu.P., Shalaev V.S. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technology of Sawing and Woodworking Industries]. Moscow, 2007. 225 p.

Received on December 29, 2014

УДК 620.179.52; 674.051; 681.2.083  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.103

## **ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ**

*Е.С. Шарапов, канд. техн. наук, доц.*

*В.Ю. Чернов, канд. техн. наук, доц.*

*А.С. Торопов, д-р техн. наук, проф.*

*Е.В. Смирнова, асп.*

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина д. 3,  
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000;  
e-mail: sharapoves@volgatech.net

Метод диагностики и контроля качества древесины, основанный на измерении сопротивления материала просверливанию, является одним из активно развивающихся направлений в области древесиноведения и экспертизы деревянных строительных конструкций. Способ определения свойств древесины сверлением основан на процессе резания. При этом влажность древесины оказывает значимое влияние как на сам процесс резания, так и на ее объемную плотность. Имеющиеся результаты исследований влияния влажности на сопротивление древесины просверливанию тонкими буровыми сверлами не позволяют с достаточной точностью описать истинный характер взаимодействия данных величин. Представленные в данной работе результаты получены с помощью мобильного устройства для диагностики состояния древесины и древесных материалов сверлением ResistYX (ООО «Новые лесные технологии», г. Йошкар-Ола), оснащенного стандартными тонкими буровыми сверлами. Экспериментально установлено значимое влияние влажности древесины на мощность сверления, процесс стружкообразования и точность определения свойств древесины. Это связано, в частности, с изменением механических характеристик древесины, а также упругим восстановлением поверхности резания. Повышение влажности древесины от абсолютно сухого состояния до уровня нормализованной влажности (10...12 %) характеризуется снижением мощности на сверление в среднем на 21 % для образцов из березы (*Bétula Péndula*) и на 15 % для образцов из сосны (*Pínus sylvéstris*) и дуба (*Quércus Róbur*). Дальнейшее повышение влажности образцов древесины до 90...150 % сопровождается увеличением мощности сверления в среднем на 50 % для березы и на 25 % для сосны и дуба. Аппроксимация экспериментальных данных осуществлена с использованием непрерывной кусочно-гладкой функции на интервалах прямой и обратной зависимостей мощности сверления от влажности древесины (коэффициент детерминации для сосны – 0,69, березы – 0,85, дуба – 0,71).

*Ключевые слова:* плотность древесины, влажность древесины, неразрушающий контроль качества древесины, измерение сопротивления сверлению, резистограф, ResistYX.

*Введение*

Метод диагностики и контроля качества древесины и древесных материалов на основе измерения сопротивления материала просверливанию активно развивается как в древесиноведении, так и при проведении экспертизы деревянных строительных конструкций [9, 13, 15, 16, 18]. На основе данного метода исследований разработаны известные зарубежные устройства для определения внутреннего состояния растущих деревьев и конструкций из древесины: Резистограф® («Rinntech», Хайдельберг, Германия) и IML-Resi («IML System GmbH», Вислох, Германия) [10, 17]. В целях повышения точности измерений свойств древесины авторами разработано и запатентовано новое мобильное устройство для диагностики состояния древесины сверлением ResistYX (ООО «Новые лесные технологии», г. Йошкар-Ола, РФ) [2, 3]. Проведены экспериментальные исследования изменения свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола [6]. На специализированном лабораторном оборудовании (DA-X, «GreCon», Альфельд, Германия) с помощью рентгеновского излучения и мобильного устройства для определения свойств древесины сверлением [2, 3] выполнен сравнительный анализ способов определения плотности древесины сосны (*Pinus sylvestris*), бука (*Fagus sylvatica*) и ясеня (*Fraxinus excelsior*) [7]. Результаты выполненных экспериментальных и теоретических исследований свидетельствуют о высокой корреляции величин мощности сверления и плотности древесины как по всему образцу, так и отдельно в пределах годовичных слоев, что подтверждает ранее полученные результаты, опубликованные в работах [10, 17, 19]. Метод определения свойств древесины сверлением основан на процессе резания. При этом влажность древесины оказывает значимое влияние не только на сам процесс резания, но и на величину ее объемной плотности.

Повышение величины сопротивления древесины просверливанию при определении ее свойств и сравнении образцов с влажностью 10 и 60...100 % отмечено в работе [8]. Отсутствие значимого влияния влажности на сопротивление древесины эвкалипта (*Eucalyptus globulus*) просверливанию отмечено в работе [11], однако диапазон изменения влажности составлял лишь 55...75 %. С. Mattheck и др. отмечали незначительное влияние влажности на определение свойств древесины сверлением при использовании Резистографа® [14]. Линейная модель взаимосвязи влажности и сопротивления древесины просверливанию представлена С. J. Lin и др. [12], при этом отмечается высокая вариация выходных данных, что снижает качество полученной регрессионной модели и результатов исследований. Существующие данные влияния влажности на сопротивление древесины просверливанию тонкими буровыми сверлами не позволяют с достаточной точностью прогнозировать истинный характер взаимодействия данных величин.

Целью данной работы являлось определение взаимодействия влажности и мощности, потребляемой при сверлении древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*) и дуба (*Quércus Róbur*) тонкими буровыми сверлами.

### Материалы и методы

План экспериментальных исследований включал несколько этапов: изготовление исследуемых образцов с учетом направления волокон древесины и ориентации годичных слоев; выдерживание исследуемых образцов в контролируемых внешних условиях по температуре и влажности воздуха для приобретения древесиной номинальной равновесной влажности; измерение мощности, затрачиваемой на сверление образцов древесины тонкими буровыми сверлами; обработка экспериментальных данных.

Математические преобразования результатов исследований состояли из определения мощности холостого хода и мощности, затрачиваемой на трение хвостовика тонкого бурового сверла о стенки отверстия и стружку; расчета среднего значения мощности сверления для каждого образца; определения влажности образцов; регрессионного анализа данных.

Экспериментальные исследования проводили на образцах древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*) и дуба (*Quércus Róbur*) при влажности в интервалах, %: 0, 5...7, 10...15, 20...35, 50...70 и 90...150. Опыты осуществляли на 10 образцах (каждой породы) размерами 50×20×100 мм (рис. 1). Для повышения точности измерений плотности, в том числе микроплотности по годичным слоям, изготавливали радиальные образцы с «максимально» параллельным расположением годичных слоев.

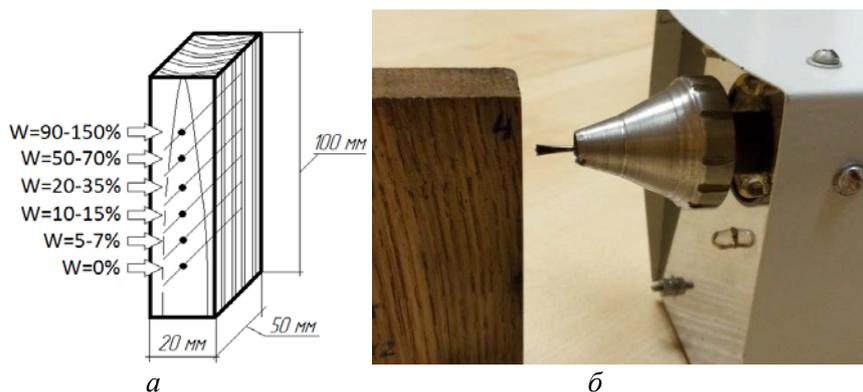


Рис. 1. Геометрические параметры исследуемых образцов древесины и расположение просверливаемых отверстий (а), а также внешний вид мобильного устройства для диагностики состояния древесины и древесных материалов сверлением ResistYX (б)

До абсолютно сухого состояния образцы высушивали в сушильном шкафу в соответствии с ГОСТ 16483.7–71. Равновесная влажность (около 6 %) была достигнута при выдерживании образцов в отопляемых комнатных условиях. Для приобретения нормализованной влажности образцы кондиционировали в лабораторной климатической камере. Изменение условий выдержки образцов в климатической камере (температура 20...22 °С, влажность воздуха 85...90 %) позволило повысить их влажность до 20...35 %. Влажность свыше 50 % древесина набирала путем вымачивания образцов в воде в течение установленного промежутка времени.

Опыты по определению свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению проводили с использованием запатентованной лабораторной экспериментальной установки ResistYX (ООО «Новые лесные технологии», г. Йошкар-Ола, Россия) [4, 5], оснащенной стандартными буровыми сверлами компании «Rinntech» (Хайдельберг, Германия). При этом на каждом образце было сделано по 6 сквозных просверливаний с шагом 10 мм для каждого значения влажности  $W$  (рис. 1, а). Результаты измерений отображались и сохранялись на ЭВМ с использованием программных комплексов «LabVIEW» («National Instruments», Остин, Техас, США) и MS «Excel». В целях повышения точности измерений при проведении исследований лабораторная экспериментальная установка и образцы закрепляли неподвижно (рис. 1, б). Частота дискретизации выходных сигналов составляла 1 кГц, что соответствует разрешению 140 измеряемых данных по мощности на 1 мм пути прохождения тонкого бурового сверла.

Измерение влажности и плотности образцов древесины осуществляли стереометрическим способом с использованием электронных лабораторных весов ViBRA AF-R220CE («Shinko Denshi Co. Ltd», Токио, Япония) по ГОСТ 16483.1–84 и ГОСТ 16483.7–71. Измерение массы образцов проводили до и после каждого просверливания, полученные данные сводили в общий отчет. После каждого просверливания образцы полностью очищали от стружки, оставшейся в отверстиях.

По данным эксперимента для каждого образца и установленной влажности в программе MS «Excel» отдельно рассчитывали динамический ряд данных по мощности, затраченной непосредственно на сверление (без мощности холостого хода и мощности, расходуемой на трение хвостовика тонкого бурового сверла в отверстии).

Регрессионный анализ взаимодействия данных влажности древесины и мощности сверления осуществляли в программе «TableCurve 2D» («Systat Software Inc.», Сан Хосе, США). Для каждой породы древесины по полученным средним значениям были построены графики зависимости мощности сверления от влажности древесины. В целях повышения точности описания взаимодействия влажности древесины и мощности сверления было принято решение использовать непрерывную кусочно-гладкую функцию, состоящую

из двух интервалов с функциями  $f_0(x)$  и  $f_1(x)$ , разделенных точкой смены формул ( $x_1$ ), которую находили как точку пересечения функций  $f_0(x)$  и  $f_1(x)$ .

В диапазонах влажности от 0 до 10...15 % и от 10...15 % до максимальной влажности 90...150 % найдены регрессионные модели разного вида, которые образуют непрерывную кусочно-гладкую функцию  $f(x)$ :

$$f(x) = \begin{cases} f_0(x), & x \leq x_1 \\ f_1(x), & x_1 < x_2 \end{cases} \quad \text{или} \quad f(x) = \begin{cases} a_0 + b_0 x^3, & x \leq x_1 \\ a + b / x, & x_1 < x_2 \end{cases}.$$

#### *Результаты исследований и их обсуждение*

В ходе исследования определено значимое влияние влажности древесины на мощность сверления и, соответственно, на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления просверливанию.

Сверление древесины относится к закрытому виду резания, поэтому на основании существующих данных о влиянии влажности на процессы элементарного и сложного резания [1] предполагалось плавное увеличение мощности сверления с повышением влажности древесины. Однако экспериментальные данные показали, что с повышением влажности древесины от 0 % до уровня нормализованной влажности (10...12 %) наблюдалось снижение мощности микросверления в среднем на 21 % для образцов из березы и на 15 % для образцов из сосны и дуба. Дальнейшее повышение влажности образцов до 90...150 % сопровождалось увеличением мощности сверления в среднем на 50 % для березы и на 25 % для сосны и дуба.

На наш взгляд, это связано с тем, что повышение влажности от абсолютно сухого состояния до уровня нормализованной влажности интенсивнее сказывается на снижении механических характеристик древесины и, как следствие, на снижении усилия резания и мощности сверления. Последующее повышение уровня влажности древесины способствует увеличению сил трения поверхностей режущей головки бурового сверла и, соответственно, мощности сверления вследствие упругого восстановления поверхности резания.

Необходимо отметить влияние влажности древесины на процесс стружкообразования, при этом с повышением количества влаги в древесине наблюдалось уплотнение стружки в просверливаемом отверстии.

Для повышения точности аппроксимации результатов исследований взаимосвязи рассматриваемых параметров может быть использована непрерывная кусочно-гладкая функция на интервалах прямой и обратной зависимостей мощности сверления от влажности древесины.

Графические отображения результатов экспериментальных исследований (точки), а также функций  $f(x)$  (кривые) для каждой из исследуемых пород древесины представлены на рис. 2–4.

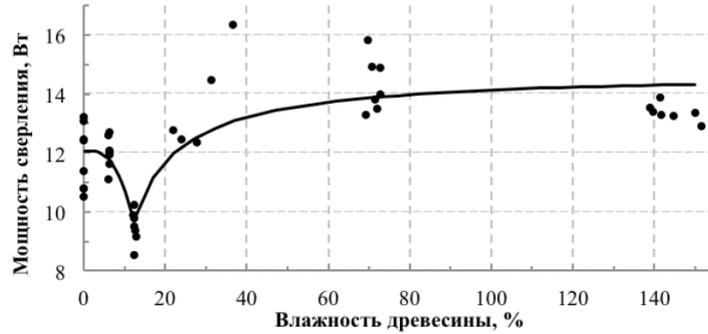


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия влажности древесины сосны с мощностью сверления (коэффициенты моделей (1):  $a_0 = 12,05431$ ;  $b_0 = -0,001309$ ;  $a = 14,72845$ ;  $b = -61,138359$ )

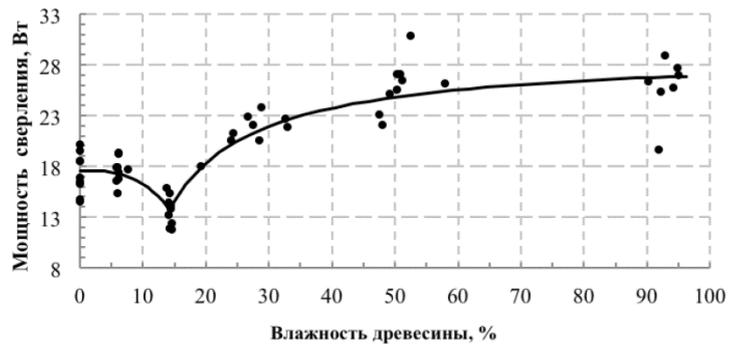


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия влажности древесины березы с мощностью сверления ( $a_0 = 17,58023$ ;  $b_0 = -0,00136$ ;  $a = 29,14136$ ;  $b = -215,2002$ )

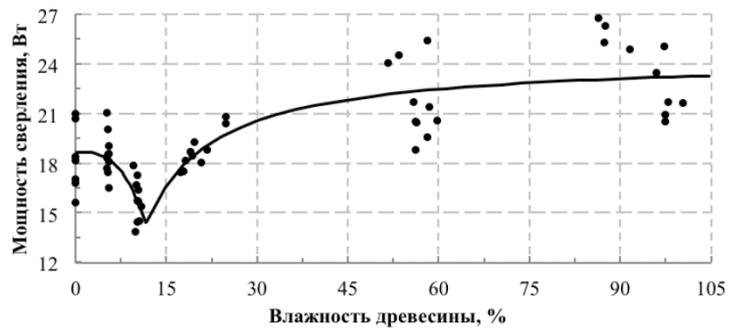


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия влажности древесины дуба с мощностью сверления ( $a_0 = 18,72768$ ;  $b_0 = -0,00274$ ;  $a = 24,38915$ ;  $b = -114,9241$ )

Определены коэффициенты регрессионных моделей  $f_0(x)$  и  $f_1(x)$  (рис. 2–4) и их основные статистики, которые представлены в таблице.

**Основные статистики регрессионных моделей  $f_0(x)$  и  $f_1(x)$**

Коэффициенты моделей		Стандартная ошибка	t-критерий	P> t	r <sup>2</sup>	Скорректированный r <sup>2</sup>	Стандартная ошибка оценки регрессии	F-критерий
Сосна	a <sub>0</sub>	0,2080	57,96	0,00000	0,67	0,66	0,78	46,0
	b <sub>0</sub>	0,0002	-6,78	0,00000				
	a	0,3360	43,83	0,00000	0,74	0,72	1,13	68,4
	b	7,3927	-8,27	0,00000				
Береза	a <sub>0</sub>	0,3840	45,75	0,00000	0,59	0,55	1,56	35,6
	b <sub>0</sub>	0,0003	-5,97	0,00000				
	a	0,6445	45,22	0,00000	0,85	0,84	2,14	192,0
	b	15,5309	-13,86	0,00000				
Дуб	a <sub>0</sub>	0,3333	56,18	0,00000	0,49	0,45	1,39	26,5
	b <sub>0</sub>	0,0005	-5,15	0,00002				
	a	0,6432	37,92	0,00000	0,72	0,70	1,76	92,7
	b	20,4879	-5,61	0,00001				

Таким образом, влияние влажности на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению можно описать регрессионными моделями в виде непрерывных кусочно-гладких функций:

для сосны

$$P_c = \begin{cases} a_0 + b_0 W^3; & 0 \leq 12,16 \\ a + b / W; & 12,16 < W_{\max} \end{cases};$$

для березы

$$P_b = \begin{cases} a_0 + b_0 W^3; & 0 \leq 14,04 \\ a + b / W; & 14,04 < W_{\max} \end{cases};$$

для дуба

$$P_d = \begin{cases} a_0 + b_0 W^3; & 0 \leq 14,47 \\ a + b / W; & 14,47 < W_{\max} \end{cases},$$

где  $P$  – мощность сверления, Вт;

$W$  – влажность древесины, %;

$W_{\max}$  – максимальная влажность древесины.

Для каждой непрерывной кусочно-гладкой функции были рассчитаны общие коэффициенты детерминации: для сосны – 0,69; березы – 0,85; дуба – 0,71.

#### Выводы

1. Влажность является одним из основных параметров, влияющих на точность определения свойств древесины методом измерения сопротивления сверлению.

2. Повышение влажности древесины от абсолютно сухого состояния до уровня нормализованной влажности характеризуется снижением мощности сверления тонкими буровыми сверлами по причине уменьшения механических свойств древесины. Дальнейшее повышение влажности образцов древесины исследуемых пород сопровождается ростом мощности сверления, что связано с увеличением сил трения режущей головки сверла с поверхностью резания и обработки.

3. Изменение влажности древесины оказывает значимое влияние на процесс стружкообразования, при этом изменяются геометрические параметры стружки, а также процесс ее перемещения в отверстии.

4. Использование непрерывной кусочно-гладкой функции на интервалах прямой и обратной зависимостей мощности сверления от влажности древесины позволяет повысить точность математического описания результатов исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: учеб. пособие для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 296 с.
2. Устройство для измерения сопротивления сверлению: пат. 95128 РФ МПК 6 G01 N3/40 / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Бычкова Т.В. №2010106686/22; заявл. 24.02.2010; опубл. 10.06.2010.
3. Устройство для измерения сопротивления сверлению: пат. 2448811 РФ МПК 6 B23B 25/06 / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Чернов Ю.В. №2010145313/28; заявл. 08.11.2010; опубл. 27.04.2012.
4. Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Исследование процесса сверления древесины с использованием устройства сбора данных NI USB 6008 // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 96–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Обоснование конструкции устройства для исследования свойств древесины сверлением // Изв. СПбГЛТА. 2011. № 195. С. 134–142.
6. Шарапов Е.С., Торопов А.С., Чернов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований свойств древесины круглых лесоматериалов по радиусу ствола // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 2. С. 162–167.
7. Шарапов Е.С., Чернов В.Ю. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2014. № 2. С. 89–95.
8. Eckstein D., Saß U. Bohrwiderstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation // HolzRohWerkst. 1994. N52. P. 279–286.
9. Gretchen L., Bohumil K. and Ron A. In situ assessment of structural timber // State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 215-AST. 2010. P. 51–57.
10. Isik F., Li B.L. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs // Can. J. Forest Res. 2003. №33(12). P. 2426–2435.
11. Johnstone D., Ades P., Moore G.M., Smith I.W. Using an IML-Resi drill to assess wood density in *Eucalyptus globulus* subsp. *pseudoglobulus*. Australian Forestry. 2011. N74(3). P. 190–196.

12. *Lin C.J., Wang S.Y., Lin F.C., Chiu C.M.* Effect of moisture content on the drill resistance value in Taiwania plantation wood // *Wood Fiber Sci.* 2003. N35(2). P. 234–238.
13. *Mattheck C. and Betghe K.* VTA – Visual tree defect assessment // *Proc. 9th Int. Mett. non-destructive testing.* Madison. September, 1993.
14. *Mattheck C., Bethge K., Albrecht W.* How to read the results of resistograph // *M. Arboricultural Journal.* 1997. N21 (4). P. 331–346.
15. *Rinn F.* Catalog of relative density profiles of trees, poles and timber derived from resistograph microdrilling // *Proceedings of the 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood.* September 22–24, 1993. Madison. WI. Published by Conferences & Institutes. Washington State University. 1994. P. 61–67.
16. *Rinn F.* Resistographic visualization of tree-ring density variations // *Tree Rings. Environment and Humanity. Radiocarbon.* 1996. P. 871–878.
17. *Rinn F., Schweingruber F.H., Schar E.* Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species // *Holzforschung.* 1996. N50 (4), P. 303–311.
18. *Wang X., Wiedenbeck J., Ross R.J., Forsman J.W., Erickson J.R., Pilon C., Brashaw B.K.* Nondestructive evaluation of incipient decay in hardwood logs // *Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-162.* Madison. WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. 2005. 11 p.
19. *Winistorfer P.M., Xu W., Wimmer R.* Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels // *Forest Products Journal.* 1995. N45(6). P. 90–93.

Поступила 30.11.15

UDC 620.179.52; 674.051; 681.2.083  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.103

### **The Impact of Moisture Content on the Accuracy of Wood Properties Evaluation by Drilling Resistance Measurement Method**

*E.S. Sharapov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*V.Yu. Chernov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*A.S. Toropov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*E.V. Smirnova, Postgraduate Student*

Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: sharapoves@volgatech.net

The method of diagnostics and control of wood on the basis of drilling resistance measuring is one of the rapidly developing areas in the field of wood science and examination of wooden building constructions. The method of wood properties evaluation by drilling is based on the cutting process. Thus wood moisture content has a significant impact both on the cutting process and density determination. The available results of the studies of the influence of moisture content on wood drilling resistance using boring drill bits do not allow to describe the true nature of the interaction of these variables with sufficient accuracy. The investigations were carried out by a mobile device for wood and wood materials properties evaluation by drilling "ResistYX" (New Forest Technology LLC, Yoshkar-Ola), equipped with the standard drill bits. The significant impact of wood moisture content on wood drilling power, the process of wood chip formation and the accuracy of wood properties evaluation

tion was established experimentally. It is related to changes in the mechanical properties of wood, and with an elastic recovery of cutting surface. The increasing of wood moisture content from absolutely dry condition to a normalized moisture level (10...12 %) is characterized by the decreased drilling power in average of 21 % for birch (*Bétula Péndula*) and 15 % for the samples of pine (*Pínus sylvéstris*) and oak (*Quércus Róbur*). A further increase of moisture content of wood samples up to 90...150 % is accompanied by the increasing of drilling power in average up to 50 % for birch and 25 % for pine and oak. The approximation of experimental data was carried out by using continuous piecewise smooth function on the intervals of direct and inverse relationship of drilling power with wood moisture content (coefficient of determination for pine – 0.69, for birch – 0.85, for oak – 0.71).

*Keywords:* wood density, wood moisture content, non-destructive wood properties control, drilling resistance measurement, resistograph, ResistYX.

#### REFERENCES

1. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Wood and Wood Materials Cutting]. Moscow, 1986. 296 p.
2. Sharapov E.S., Chernov V.Yu., Bychkova T.V. *Ustroystvo dlya izmereniya soprotivleniya sverleniyu* [The Device for Drill Resistance Measuring]. Patent RF, no. 95128, 2010.
3. Sharapov E.S., Chernov V.Yu., Chernov Yu.V. *Ustroystvo dlya izmereniya soprotivleniya sverleniyu* [The Device for Drill Resistance Measuring]. Patent RF 2448811, 2010.
4. Sharapov E.S., Chernov V.Yu. *Issledovanie protsessa sverleniya drevesiny s ispol'zovaniem ustroystva sbora dannykh NI USB 6008* [The Research of Wood Drilling Process Using the Data Acquisition Device NI USB 6008]. *Lesnoy Zhurnal*, 2012, no. 6, pp. 96–100.
5. Sharapov E.S., Chernov V.Yu. *Obosnovanie konstruktsii ustroystva dlya issledovaniya svoystv drevesiny sverleniem* [Design Rationale of the Drilling Device for Wood Properties Evaluation]. *Izvestia SPbLTA*, 2011, no. 195, pp. 134–142.
6. Sharapov E.S., Toropov A.S., Chernov V.Yu. *Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy svoystv drevesiny kruglykh lesomaterialov po radiusu stvola* [Experimental Researches Results of Wood Properties Along the Round Logs Radius]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2012, no. 2, pp. 162–167.
7. Sharapov E.S., Chernov V.Yu. *Sravnitel'nyy analiz sposobov opredeleniya plotnosti drevesiny s pomoshch'yu rentgenovskogo izlucheniya i ustroystva dlya izmereniya soprotivleniya sverleniyu* [Comparative Analysis of Wood Density Techniques Determination with Using X-Ray Radiation and Device for Drilling Resistance Measurements]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 2, pp. 89–95.
8. Isik F., Li B.L. *Rapid Assessment of Wood Density of Live Trees Using the Resistograph for Selection in Tree Improvement Programs*. *Can. J. Forest Res.*, 2003, no. 33(12), pp. 2426–2435.
9. Eckstein D., Saß U. *Bohrwiderstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation*. *HolzRohWerkst.*, 1994, no. 52, pp. 279–286.
10. Gretchen L., Bohumil K., Ron A. *In Situ Assessment of Structural Timber*. *State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 215-AST*, 2010, pp. 51–57.

11. Johnstone D., Ades P., Moore G.M., Smith I.W. Using an IML-Resi Drill to Assess Wood Density in Eucalyptus Globulus Subsp Pseudoglobulus. *Australian Forestry*, 2011, no. 74(3), pp. 190–196.

12. Lin C.J., Wang S.Y., Lin F.C., Chiu C.M. Effect of Moisture Content on the Drill Resistance Value in Taiwan Plantation Wood. *Wood Fiber Sci.*, 2003, no. 35(2), pp. 234–238.

13. Mattheck C., Betghe K. VTA – Visual Tree Defect Assessment. *Proc. 9th Int. Mett. Non-Destructive Testing*. Madison, 1993.

14. Mattheck C., Bethge K., Albrecht W. How to Read the Results of Resistograph *M. Arboricultural Journal*, 1997, no. 21 (4), pp. 331–346.

15. Rinn F. *Resistographic Visualization of Tree-Ring Density Variations. Tree Rings. Environment and Humanity. Radiocarbon*, 1996, pp. 871–878.

16. Rinn F. Catalog of Relative Density Profiles of Trees Poles and Timber Derived from Resistograph Microdrilling. *Proc. 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. September 22–24, 1993. Madison. WI. Published by Conferences & Institutes*. Washington, 1994, pp. 61–67.

17. Rinn F., Schweingruber F.H., Schar E. Resistograph and X-ray Density Charts of Wood Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-Ray Density Charts of Different Wood Species. *Holzforschung*, 1996, no. 50 (4), pp. 303–311.

18. Wang X., Wiedenbeck J., Ross R.J., Forsman J.W., Erickson J.R., Pilon C., Brashaw B.K. Nondestructive Evaluation of Incipient Decay in Hardwood Logs. *Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-162. Madison. WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory*, 2005. 11p.

19. Winistorfer P.M., Xu W., Wimmer R. Application of a Drill Resistance Technique for Density Profile Measurement in Wood Composite Panels. *Forest Products Journal*, 1995, no. 45(6), pp. 90–93.

Received on November 30, 2015

---

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.114

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СУШКИ ПРОФИЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

*П.В. Билей, д-р техн. наук, проф.*

*Р.А. Рокунь, асп.*

Национальный лесотехнический институт Украины, ул. Генерала Чупринки, д. 103,  
г. Львов, Украина, 79057; e-mail: p.biley@ukr.net, R525@ukr.net

Сушка профильных заготовок из массивной древесины имеет ряд особенностей. В первую очередь – это переменное сечение по длине заготовки, что ставит ряд сложных задач по формированию штабелей или пакетов, выбору режимов, технологий и сушильного оборудования. В качестве экспериментального материала выбрана древесина бука. Процесс сушки является сложным теплообменным процессом, включающим теплообмен между поверхностью древесины и средой, тепло- и влагопроводность внутри материала и испарение влаги на его поверхности. Для изучения теплообмена необходимо знать распределение влаги по сечению материала. В основном принимают для исследований или расчетов, что влага внутри материала распределяется по параболической или косинусоидальной зависимости. Косинусоидальная зависимость описывается уравнением скорости сушки в виде баланса влаги, которая перемещается внутри материала и испаряется с его поверхности. Полученная физико-математическая модель является исходным положением для составления методики экспериментальных исследований кинетики процесса сушки. Экспериментально необходимо определять влажность центральных и поверхностных слоев древесины, изменение средней влажности во время сушки, линейные размеры заготовок, режимные параметры процесса сушки (температура среды и равновесная влажность древесины). Представлены формулы, по которым определены коэффициенты сушки, влагопроводности, влагоотдачи, массообменные критерии Нуссельта и Фурье. По экспериментальным данным построены кривые сушки, отражающие изменение влажности древесины во время сушки, и кривые скорости сушки, на основании которых определяют кинетические характеристики процесса. Найдено, что скорость сушки в ходе эксперимента уменьшается более чем в шесть раз. Полученные значения коэффициентов сушки и влагопроводности можно использовать в теоретических уравнениях для определения продолжительности процесса сушки. Обобщающими характеристиками кинетики процесса сушки являются безразмерные критерии Нуссельта (характеризует соотношение коэффициентов влагоотдачи материала с характерным размером и влагопроводности) и Фурье (характеризует интенсивность перемещения влаги внутри древесных сортиментов).

*Ключевые слова:* древесина, влажность, коэффициенты сушки, влагопроводность, влагоотдача, критерии, кинетика.

## Введение

В лесной, деревообрабатывающей и мебельной промышленности часто используют профильные заготовки из древесины. Это могут быть столярные изделия, декоративные элементы мебели, деревянные элементы стрелкового оружия, элементы деревянных музыкальных инструментов, деревянные протезы, обувные колодки и др. В последнее время имеется большой спрос на сухие дрова, идущие на экспорт и внутренний рынок. Режимам и технологии сушки профильных заготовок из древесины уделено очень мало внимания в специальной технической литературе. Профильные заготовки имеют переменное сечение по длине, поэтому возникают различные сложности по способам укладки в пакеты или штабеля, выбору режимов, технологий и сушильного оборудования.

В данной работе рассмотрен конвективный процесс сушки буковых сортиментов. Бук европейский (*Fagus sylvatica* L.) является наиболее распространенной порообразующей древесиной Карпатского региона Украины [1].

## Теоретические положения

Внутренний влагоперенос и внешний влагообмен поверхности древесины с окружающей средой являются переменными величинами во времени и пространстве. Исследование конвективной сушки древесины твердых пород (бук, дуб, граб) показали, что более точно распределение влагосодержания в материале можно описать косинусоидой [1]. При трехмерном потоке влаги (например, для заготовок или дров) закон распределения влажности можно описать следующим уравнением:

$$U = U_{\text{пов}} + (U_{\text{ц}} - U_{\text{пов}}) \cos \frac{\pi x}{2R_1} \cdot \cos \frac{\pi y}{2R_2} \cdot \cos \frac{\pi z}{2R_3},$$

где  $U_{\text{пов}}$ ,  $U_{\text{ц}}$  – соответственно влагосодержание поверхностных и центральных слоев;

$R_1, R_2, R_3$  – соответственно толщина, ширина и длина заготовки, см.

Среднюю по объему влажность древесины определим по формуле

$$\bar{W} = \frac{1}{R_1 R_2 R_3} \int_0^{R_1} \int_0^{R_2} \int_0^{R_3} U dx \cdot dy \cdot dz.$$

Скорость сушки в данном случае найдем, используя уравнение

$$-\frac{dW}{d\tau} R_1 R_2 R_3 = a_m \left( \frac{\partial U}{\partial x} R_1 R_2 + \frac{\partial U}{\partial y} R_2 R_3 + \frac{\partial U}{\partial z} R_1 R_3 \right) = \beta (U_{\text{пов}} - U_p) (R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3),$$

где  $a_m$  – коэффициент влагопроводности;

$\beta$  – коэффициент влагоотдачи;

$U_p$  – равновесное влагосодержание древесины [1, 3, 4, 6–8].

В конечном варианте запишем уравнение скорости сушки для периода убывающей скорости:

$$-\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{a_m}{R_c^2} \left[ \frac{1}{C + \frac{\Pi}{R_c H}} \right] (\bar{W} - W_p),$$

где  $R_c$  – обобщенный характерный размер заготовок,  $R_c = R^2 / R_a$ ;

$$\frac{1}{R^2} = \frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} + \frac{1}{R_3^2};$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3};$$

$C, \Pi$  – постоянные коэффициенты,  $C = 4/\pi^2 = 0,405$ ;  $\Pi = 1,0$ ;

$H$  – соотношение коэффициентов влагоотдачи  $\beta_c$  и теплопроводности  $a_m$  [2, 6];

$W$  и  $W_p$  – соответственно средняя и равновесная влажность древесины.

Таким образом, для экспериментальных исследований кинетики процесса сушки необходимо иметь данные о средней влажности древесины ( $W$ ), влажности поверхностных ( $W_{\text{пов}}$ ) и центральных ( $W_{\text{ц}}$ ) слоев древесины, линейных размерах заготовок ( $R_1, R_2, R_3$ ), режимных параметрах процесса сушки (температура и равновесная влажность древесины) [2–9].

#### Методика экспериментального исследования

Как правило, поперечное сечение дров имеет вид треугольника или трапеции. Геометрический центр этих фигур находят по пересечению биссектрис или диагоналей. Для измерения влажности центральных слоев древесины датчики электроконтактного влагомера необходимо внедрить на глубину  $x = R$ . Для измерения влажности поверхностных слоев датчики достаточно внедрить на глубину  $x = 0,15R$ .

Перед процессом сушки (и в процессе сушки) контрольные образцы взвешивают – находят начальную ( $M_w$ ) и среднюю текущую ( $M_i$ ) массу образца (заготовки). Потом в середине образца выпиливают секции послойной влажности и секцию влажности, которые взвешивают и помещают в сушильный шкаф, где высушивают до абсолютно сухого состояния. Таким образом весовым способом находят распределение влажности по толщине заготовки в конце процесса сушки, а также массу ( $M_0$ , кг), которую бы имела заготовка в абсолютно сухом состоянии:

$$M_0 = \frac{100M_w}{100 + W_n},$$

где  $W_n$  – средняя начальная влажность образца.

По массе заготовки в абсолютно сухом состоянии ( $M_0$ ) можно воссоздать кинетику изменения средней влажности древесины во время сушки:

$$\bar{W}_i = \frac{M_i - M_0}{M_0} 100 \text{ \%}.$$

За основу были приняты известные режимы сушки [3, 4]. Фиксировались продолжительность процесса сушки на каждой из ступеней режима ( $\tau$ , с), интервал времени ( $\Delta\tau$ , с) и изменение средней влажности древесины ( $\Delta W$ , %). Средняя начальная влажность заготовок  $W_n = 62,4$  %. Эквивалентный радиус заготовок  $R = 5,2$  см.

*Результаты экспериментальных исследований*

В табл. 1 приведены данные экспериментов по изменению влажности древесины в процессе сушки, а также режимные параметры (ступень режима, равновесная влажность древесины ( $W_p$ ), изменение влажности древесины (среднее ее значение ( $W$ ), влажность поверхностных ( $W_{пов}$ ) и центральных ( $W_{ц}$ ) слоев древесины, продолжительность процесса ( $\tau$ )).

Таблица 1

**Изменение влажности древесины в процессе сушки**

Параметры процесса, %		Продолжительность сушки		Влажность древесины в процессе сушки, %				Скорость сушки
W	W <sub>p</sub>	$\tau \cdot 10^4$ , с	$\Delta\tau \cdot 10^4$ , с	W	W <sub>ц</sub>	W <sub>пов</sub>	$\Delta W$	$\frac{\Delta W}{\Delta\tau} \cdot 10^{-4}$ , %/с
		0	0	62,4	68,2	45,8	–	–
W <sub>n</sub> ...40	13,5	5,76	5,76	39,9	49,0	28,6	22,5	3,91
40...30	9,0	10,80	4,32	30,3	36,6	18,9	9,6	2,22
30...20	7,0	16,20	6,12	20,0	25,4	12,7	10,3	1,68
20...15	4,5	25,20	9,0	14,8	15,6	8,2	5,2	0,58

Таблица 2

**Кинетические характеристики процесса сушки**

Параметры процесса, %		Коэффициенты			Критерии	
W	W <sub>p</sub>	K <sub>i</sub> , 1/с	a <sub>m</sub> , см <sup>2</sup> /с	$\beta_{сз}$ , см/с	Nu <sub>m</sub>	Fo <sub>m</sub>
W <sub>n</sub> ...40	13,5	10,7·10 <sup>-6</sup>	4,38·10 <sup>-4</sup>	5,41·10 <sup>-5</sup>	0,64	0,93
40...30	9,0	8,61·10 <sup>-6</sup>	2,87·10 <sup>-4</sup>	4,42·10 <sup>-5</sup>	0,80	0,46
30...20	7,0	9,53·10 <sup>-6</sup>	3,02·10 <sup>-4</sup>	4,80·10 <sup>-5</sup>	0,83	0,68
20...15	4,5	4,54·10 <sup>-6</sup>	1,79·10 <sup>-4</sup>	2,94·10 <sup>-5</sup>	0,81	0,60
Средние значения		8,35·10 <sup>-6</sup>	3,02·10 <sup>-4</sup>	4,39·10 <sup>-5</sup>	0,77	0,68

В табл. 2 приведены кинетические характеристики процесса сушки, определенные по следующим формулам:

а) коэффициент сушки

$$K_i = \frac{1}{\tau_i} \ln \frac{W_n - W_p}{W_k - W_p},$$

где  $\tau_i$  – продолжительность  $i$ -й ступени режима сушки, с;  
 $W_n, W_k$  – соответственно средняя начальная и конечная влажности древесины на данной ступени режима, %;  
 $W_p$  – равновесная влажность древесины на данной ступени режима, %;

б) коэффициент влагопроводности

$$a_m = \frac{\Delta W_i}{\Delta \tau_i} R / \frac{\Delta W}{\Delta x},$$

где  $\Delta W_i / \Delta \tau_i$  – скорость сушки на данной ступени режима, %/с;

$W_i$  – средняя влажность древесины на данной ступени режима, %;

$R$  – характерный размер (эквивалентный радиус), см;

$\Delta W / \Delta x$  – перепад влажности по толщине материала, %/см;

в) коэффициент влагоотдачи

$$\beta_c = \frac{\Delta W}{\Delta \tau} R / (\bar{W}_i - W_p);$$

г) массообменный критерий Нуссельта, характеризующий соотношение влагопроводности древесины и влагообмена поверхности древесины со средой,

$$Nu_m = \beta_c R / a_m;$$

д) массообменный критерий Фурье, характеризующий интенсивность перемещения влаги внутри древесных сортиментов

$$Fo_m = a_m \tau / R^2.$$

Таким образом, построенные по экспериментальным данным кривые сушки (изменения влажности древесины во время сушки) и кривые скорости сушки дают возможность определить кинетические характеристики процесса в целом. Скорость сушки по ходу процесса уменьшается в 6,7 раз. Полученные значения коэффициентов сушки и влагопроводности можно использовать для определения длительности процесса. Обобщающими характеристиками процесса сушки являются безразмерные комплексы – критерии Нуссельта и Фурье.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билей П.В. Сушка древесины твердых лиственных пород. М.: Экология, 1992. 224 с.
2. Кейс В.М. Конвективный теплообмен: пер. с англ. М.: Энергия, 1972. 448 с.
3. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. Л.: Госэнергоиздат, 1963. 535 с.
4. Лыков А.В. Теплообмен: справ. 2-е изд.; пераб. и доп. М.: Энергия, 1978. 480 с.
5. Сушка древесины: справ. Серия «Деревообработка» / Сост. С.Ж. Алюшин, В.Ю. Березовский, П.В. Билей, С.А. Бурышев, Н.В. Приходько, С.А. Стрелков. К.: ТМА «Тристан», 2004. 440 с.
6. Шубин Г.С. Теория тепловой обработки и расчет процессов сушки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 248 с.
7. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 270 с.
8. Билей П.В. І.В. Петришак, І.А. Соколовський, Л.Я. Сорока. Теплообмінні процеси деревообробки деревини (Підручник). Львів. 2013. 376 с.
9. Brunner – Hildebrand. Die schnitholz-trocknung (S. Auflage): Buchdruckwerkstaten. Hannover. Gm.bH, 1987. 322 s.

Поступила 08.02.15

UDC 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.114

### **Kinetics of Drying of Wood Profile Blanks**

*P.V. Biley, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*R.A. Rokun', Postgraduate Student*

National Institute of Forestry of Ukraine, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine; e-mail: p.biley@ukr.net, R525@ukr.net

The drying process of profile blanks of solid wood has a number of features. First of all it is a variable cross-section along the length of a blank, which poses a number of challenges to form the staples or packages, to select the modes, technologies and drying equipment. The beechwood is selected as an experimental material, which is often used for firewood. The drying process is a complex process of heat and mass transfer which includes the heat exchange between the wood surface and the medium, thermal conductivity and moisture conduction inside the material, evaporation of moisture on its surface. To study the heat and mass transfer it is necessary to know the distribution of moisture in the cross section of material. Basically, the nature of moisture distribution inside the material is considered for the research in the form of a parabolic or cosine dependence. The cosine dependence is described by the drying rate law in the form of moisture balance. Moisture evaporates from the material surface. The resulting physical and mathematical model is the starting position for the methodology of the kinetics experimental studies of drying process. The moisture content of the central and surface layers of wood, change in the average moisture content at the drying process, linear dimensions of blanks, operational parameters of the drying process (the environmental temperature and the equilibrium moisture content of wood) are determined experimentally. The paper presents formulas, determining the coefficients of drying, moisture conduction, moisture-yielding ability, mass exchange Nusselt and Fourier numbers. According to the experimental data the drying curves reflecting the change in the moisture content during the drying process and the drying rate curves, which help to determine the kinetic characteristics of the process, should be constructed. The drying rate during the test is reduced by more than six times. The obtained values of drying and moisture coefficients can be used in the theoretical equations to determine the duration of the drying process. Kinetics general characteristics of drying process are dimensionless Nusselt and Fourier numbers.

*Keywords:* wood, moisture content, drying coefficient, moisture conduction, moisture-yielding ability, criteria, kinetics.

### REFERENCES

1. Biley P.V. *Sushka drevesiny tverdykh listvennykh porod* [Wood Drying of Solid Hardwood]. Moscow, 1992. 224 p.
2. Kays W.M. *Convective Heat and Mass Transfer*. New York, 1966.
3. Lykov A.V., Mikhaylov Yu.A. *Teoriya teplo- i massopere nosa* [The Theory of Heat and Mass Transfer]. Leningrad, 1963. 535 p.
4. Lykov A.V. *Teplomassoobmen* [Heat and Mass Transfer]. Moscow, 1978. 480 p.

5. Alyushin S.Zh., Berezovskiy V.Yu., Biley P.V., Buryshv S.A., Prikhod'ko N.V., Strelkov S.A. *Sushka drevesiny* [Drying of Wood]. Kiev, 2004. 440 p.
6. Shubin G.S. *Teoriya teplovoy obrabotki i raschet protsessov sushki drevesiny* [Theory of Heat Treatment and Calculation Processes of Wood Drying]. Moscow, 1973. 248 p.
7. Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [The Water in the Wood]. Novosibirsk, 1984. 270 p.
8. Biley P.V., Petrishak I.V., Sokolovs'kiy I.A., Soroka L.Ya. *Teplomassoobminni protsesi derevoobrobki derevini (Pidruchnik)* [Heat and Mass Transfer Processes of Wood Processing]. Lviv, 2013. 376 p.
9. Brunner-Hildebrand. *Die Schnittholzetrocknung*. Hannover, 1987. 322 p.

Received on February 08, 2015

---



УДК 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.2.121

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ЛИСТВЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ\*

*Е.О. Окулова, асп.*

*А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: e.okulova@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru

В настоящее время при производстве массовых волокнистых полуфабрикатов для бумаги и картона используется лиственная древесина. В России это преимущественно древесина березы и осины в разных соотношениях. Основные структурные элементы лиственной древесины в готовых полуфабрикатах – волокна либриформа сосудов. Анатомически волокна либриформа очень трудно различить между собой, но волокна сосудов имеют характерные диагностические признаки – строение перфорационной пластинки. У древесины осины она простая, у древесины березы – лестничная со многими перегородками. На основе указанных особенностей ранее авторами были разработаны метод компьютерной визуализации и алгоритм программы для распознавания волокон сосудов осины и березы. Данная программа предназначена для статистического анализа породного состава волокон древесины по микрофотографиям. Программа апробирована на образцах сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из 100 % древесины осины и березы. Смеси готовили весовым методом с заданным соотношением волокон (шаг 10 %). В результате исследований установлено несовпадение ожидаемого и фактического количества сосудов осины и березы. Для оценки влияния соотношения пород лиственной древесины на свойства полуфабрикатов в лабораторных условиях смоделированы три способа получения полуфабрикатов, которые преимущественно используются при переработке древесины осины и березы: варка с зеленым щелоком, натронно-содовым способом и сульфатная варка. Из этих полуфабрикатов получены лабораторные образцы смешиванием их весовым методом (шаг 20 %) в интервале от 0 до 100 % одной из пород. Размол проводили в мельнице Йокро до 20 °ШР. Выполнен анализ основных показателей физико-механических свойств (разрывная длина, сопротивление раздиранию, собственная прочность волокна) лабораторных отливок из полуцеллюлозы (125 г/м<sup>2</sup>) и беленой сульфатцеллюлозы (60 г/м<sup>2</sup>). Обнаружено различие между расчетным и фактическим соотношением количества сосудов в смесях с заданным процентным соотношением. Исследована зависимость

---

\*Работа выполнена в Инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

соотношения композиционного состава на показатели физико-механических свойств. Показана динамика ухудшения прочностных свойств лабораторных образцов при увеличении в их композиции доли осинового волокна.

*Ключевые слова:* сосуды лиственной древесины, компьютерная визуализация, разрывная длина, сопротивление раздиранию, собственная прочность волокна.

### *Введение*

Определение количественного соотношения породного состава сырья, поступающего на бумагоделательную машину, является одной из ключевых проблем обеспечения стабильного качества продукции. Применительно к отечественной целлюлозно-бумажной промышленности в первую очередь о соотношении древесины осины и березы в щепе, поступающей на варку. До настоящего времени ни на одном из предприятий не ведется такой учет ввиду отсутствия методов экспресс-анализа.

Наиболее точным и малозатратным является метод определения породного состава волокон на основе морфологических признаков.

Основные структурные элементы древесины лиственных пород, волокна либриформа и сосуды, как известно, выполняют соответственно механическую и проводящую функции [2, 11]. Основная часть волокон в составе целлюлозного полуфабриката, полученного из древесины осины и березы, представляет собой тонкостенные волокна либриформа. Характерные признаки таких волокон, например наличие мелких косо расположенных щелевидных пор у либриформа осины, нивелируются в ходе технологических операций. Следовательно, надежно идентифицировать количество осины или березы в целлюлозной массе на основе морфологических признаков либриформа не представляется возможным.

Однако древесина осины и березы существенно отличается строением сосудов. У березы стенки сосудов имеют многочисленные мелкие окаймленные поры в количестве 12...18 рядов по ширине клеточной стенки, у осины – крупные окаймленные поры в количестве 6...8 рядов по ширине сосуда [5, 11]. Эти отличия в анатомическом строении сосудов березы и осины представляют достаточно явные признаки для диагностирования этих пород.

Кроме того, у сосудов есть дополнительные еще более существенные морфологические отличия, связанные с особенностями формирования данного вида клеток в живой древесине.

Сосуды ранней и поздней древесины у березы и осины одинаковы по размеру и состоят из отдельных клеток, так называемых члеников сосудов, расположенных одна над другой вдоль ствола (рис. 1). Данные членистые образования в совокупности достигают длины нескольких метров [9]. Размеры отдельных клеток в среднем: у березы – длина 0,9 мм, толщина 6 мкм, у осины – 0,7 мм и 5 мкм соответственно [3].

Отдельные членики сосудов соединены перфорационными перегородками (пластинками). У березы данные перфорационные пластинки имеют

лестничную форму с множественными удлиненными параллельными отверстиями и остающимися между ними перегородками (рис. 1, *а*). Указанные особенности сохраняются в сосудах, находящихся в составе целлюлозного полуфабриката после прохождения технологических операций.

Сосуды осиновой древесины соединены между собой простыми перфорационными перегородками без каких-либо отличительных особенностей (рис. 1, *б*).

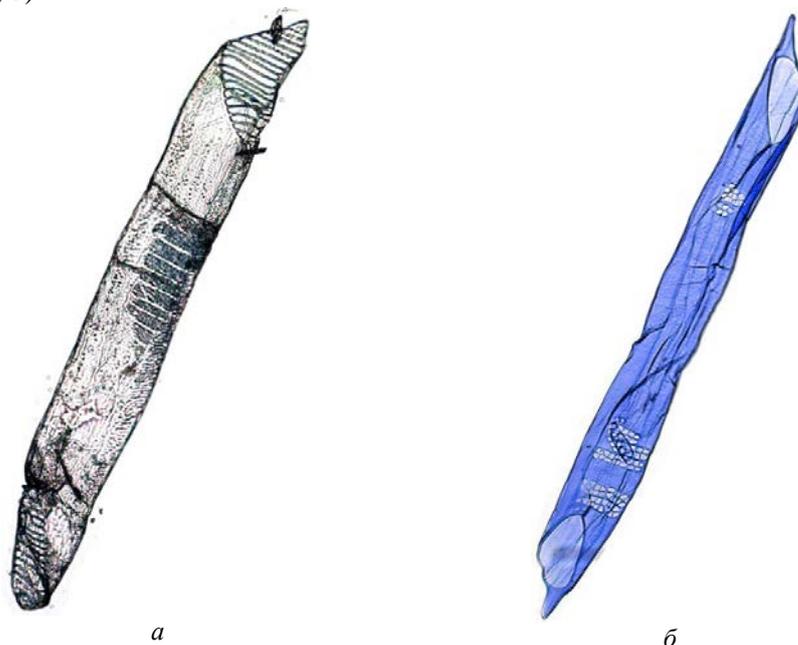


Рис. 1. Сосуды лиственной древесины: *а* – береза; *б* – осина

Таким образом, указанные различия в морфологическом строении сосудов березы и осины являются надежной основой для уверенной идентификации пород в целлюлозных полуфабрикатах и в составе бумаги и картона [8].

Химический состав древесины березы и осины отличается незначительно и зависит от районов произрастания. Основные компоненты клеточной стенки волокна (целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин) составляют в сумме 90...95 % массы, оставшиеся 5...10 % – экстрагируемые вещества. Данные о химическом составе древесины осины и березы, произрастающих в Архангельской области [6] (табл. 1), свидетельствуют, что в древесине березы по сравнению с осиной содержится меньше целлюлозы, но больше лигнина, пентозанов и экстрактивных веществ.

Подробный химический состав лиственной древесины опубликован в работах В.М. Никитина [7] и В.И. Шаркова [10]. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что по сравнению с осиной древесина березы имеет повышенное содержание ксилана и пониженное целлюлозы [1, 7, 10].

Таблица 1

## Химический состав древесины осины и березы

Порода	Массовая доля, % от абс. сухой древесины				
	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Смолы и жиры	Экстрагируемые вещества
Береза	46,8	24,7	23,7	4,6	6,2
Осина	49,8	22,6	19,5	4,2	5,7

В целом, отмеченные различия в химическом составе не позволяют достоверно идентифицировать волокна березы и осины, а следовательно, судить по данному признаку об их соотношении в составе целлюлозного полуфабриката.

*Материалы и методы*

Для проведения эксперимента из образцов древесины осины и березы получали технологическую щепу в производственных условиях древесно-подготовительного цеха ОАО «Архангельский ЦБК» на рубительной машине ННҚ.

Варки полуцеллюлозы проводили в установке с вращающимися автоклавами. Параметры режима: гидромодуль варки 1 : 3; начальная температура варки – 120 °С, продолжительность варки – 58 мин, стоянка на 170 °С – в течение 30 мин; расход варочных растворов (зеленого щелока и натронно-содового раствора в соотношении NaOH : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 3:1) – 8 % [2, 4]. Готовую массу в целях разделения полупроваренной щепы на волокна подвергали обработке в лабораторной мельнице ЦРА в течение 15 мин.

Варку сульфатной целлюлозы проводили на глицериновой бане. Параметры режима: гидромодуль варки 3,8, расход активной щелочи 20 % в ед. Na<sub>2</sub>O; начальная температура варки – 75 °С, стоянка на 158 °С – в течение 120 мин. Отбелка по схеме Д<sub>0</sub>–ЩГ–Д<sub>1</sub>–Щ–Д<sub>2</sub>–К.

У всех полуфабрикатов из отдельных пород древесины определяли выход и число Каппа [3].

Из образцов сульфатной небеленой целлюлозы, полученных из 100 % древесины осины и березы, соответственно моделировали смеси указанных полуфабрикатов в соответствии с весовыми расчетами в процентном соотношении береза / осина с шагом в 10 %. Компьютерное изображение для последующей визуализации и идентификации сосудов березы и осины в смеси получали с помощью исследовательского микроскопа серии Axio Imager.M2m с модульной системой обработки и анализа изображений. На основе особенностей строения исследуемых волокон использовали изображения для апробации метода компьютерной визуализации [8].

Лабораторные образцы смесей полуфабрикатов получали из волокон березы и осины при следующих весовых соотношениях: 0/100; 20/80; 40/60; 60/40; 80/20; 100/0. Каждая проба подвергалась размолу в мельнице ЦРА до

степени помола 20 °ШП, затем из них изготавливали лабораторные отливки. Масса отливок из полуцеллюлозы 125 г/м<sup>2</sup>, из белой сульфатной 60 г/м<sup>2</sup>.

Анализ структурно-размерных характеристик полученных волокон выполняли с помощью автоматического анализатора волокна L&W FiberTester.

Изучены основные физико-механические характеристики лабораторных образцов (разрывная длина, сопротивление раздиранию и собственная прочность волокон в структуре (нулевая разрывная длина)).

### Обсуждение результатов

При помощи метода компьютерной визуализации обнаружено, что в пробах с заданным процентным соотношением пород ожидаемое и фактическое количество сосудов древесины осины и березы не совпадает (рис. 2). Количество сосудов осины при равной массе всех волокон всегда больше.

В результате анализа получены данные, показывающие различие между линией аддитивности, т.е. заданным количеством волокон сосудов (линия 2) и измеренным количеством сосудов осины (1).

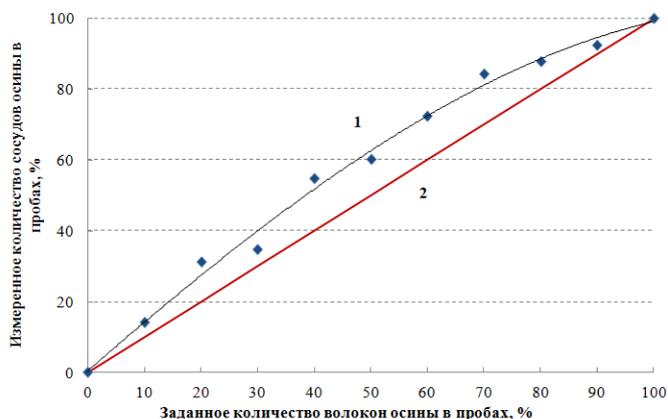


Рис. 2. Соотношение заданного и фактического количества волокон осины в пробах

При исследовании влияния соотношения волокон березы и осины установлено, что при варке с зеленым щелоком выход полуцеллюлозы (ПЦ) в меньшей степени зависит от породы древесины, в то время как при натронно-содовой варке и сульфатной варке выход полуфабрикатов из осины на 6 % выше по отношению к полуфабрикатам из древесины березы. При этом различия в числе Каппа между породами при каждом способе варки сопоставимы (табл. 2).

Структурно-размерные характеристики свидетельствуют о незначительном влиянии породы древесины на геометрические размеры и грубость

Таблица 2  
Характеристики полученных полуфабрикатов из древесины березы и осины

Показатель	Значение показателя для полуфабриката					
	ПЦ на зеленом щелоке		Натронно-содовая ПЦ		Сульфатная целлюлоза	
	Береза	Осина	Береза	Осина	Береза	Осина
Число Каппа	130,0	128,0	117,0	116,0	14,2	13,4
Выход, %	72,6	72,0	71,8	77,8	47,6	53,8
Средняя длина волокна, мм	1,11	1,07	1,01	0,99	0,93	0,92
Средняя ширина волокна, мкм	31,6	31,5	30,4	30,3	22,9	23,3
Грубость, мкг	347	333	233	197	100	98

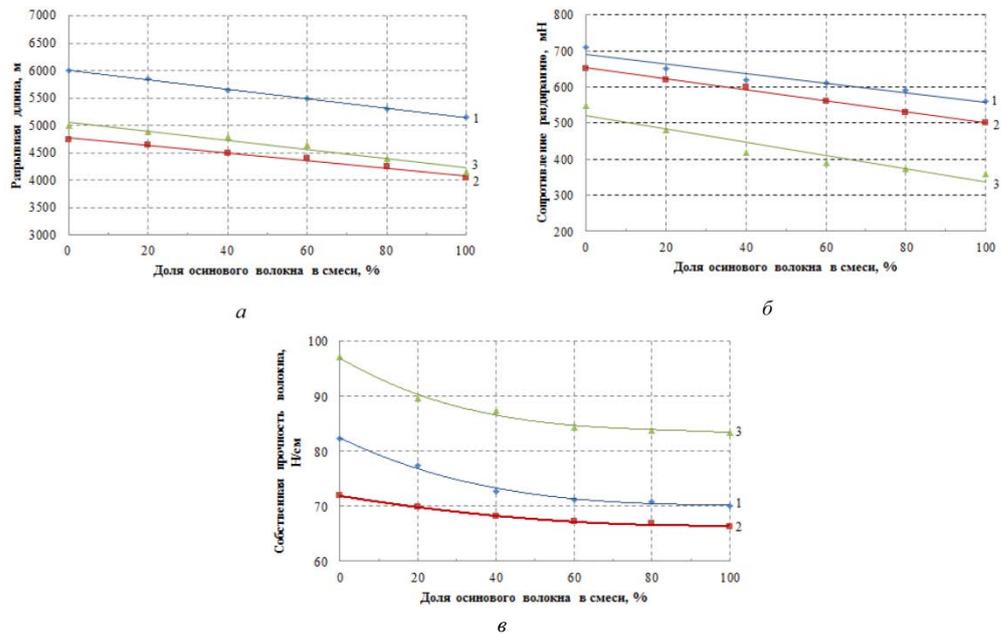


Рис. 3. Влияние соотношения волокон березы и осины в смеси на характеристики прочности образцов полуфабрикатов: а – разрывная длина; б – сопротивление раздиранию; в – собственная прочность волокон в структуре; 1 – полуцеллюлоза, полученная при варке с зеленым щелоком, 2 – натронно-содовая полуцеллюлоза, 3 – сульфатная беленая целлюлоза

волокон полуфабрикатов при одном способе получения. Напротив, сопоставление полуфабрикатов из одной породы, но с использованием разных способов варки демонстрирует существенное влияние вида древесного сырья на структурно-размерные свойства волокон.

Результаты измерения основных физико-механических характеристик лабораторных образцов (разрывной длины, сопротивления раздиранию и собственной прочности волокон в структуре (нулевой разрывной длины)) представлены на рис. 3. Как видно из графиков при увеличении доли осинового составляющей прочностные характеристики образцов уменьшаются.

Таким образом, в лабораторных условиях на различных видах полуфабрикатов, полученных из смесей волокон березы и осины, продемонстрировано влияние соотношения волокон березы и осины на уровень основных физико-механических характеристик. В целом для всех полуфабрикатов наблюдается существенное снижение значений разрывной длины, сопротивления раздиранию и собственной прочности волокна в структуре образцов при увеличении доли волокон осины в составе полуфабриката. Следовательно, подтверждена актуальность оперативного контроля соотношения волокон березы и осины при получении целлюлозных полуфабрикатов из смеси пород и их последующем использовании для производства бумаги и картона.

#### *Выводы*

1. Для оптимизации технологии полуфабрикатов, бумаги и картона и их качества следует использовать количественный контроль соотношения волокон осины и березы.

2. Экспериментально установлено, что в образцах с заданным породным составом ожидаемое и фактическое количество сосудов древесины осины и березы не совпадает. При определении породного состава полуфабрикатов следует вводить поправочные коэффициенты.

3. Подтверждена зависимость основных характеристик прочности полуфабрикатов для массовых видов бумаги и картона от соотношения древесины осины и березы в исходном сырье. Показана динамика ухудшения прочностных свойств лабораторных образцов при увеличении в их композиции доли осинового волокна.

4. Установленные закономерности влияния соотношения волокон березы и осины в смеси на прочность целлюлозно-бумажных материалов подтверждают актуальность и практическую востребованность разрабатываемого метода экспресс-определения соотношения указанных листовых волокон в технологических потоках получения полуфабрикатов и при выработке бумаги и картона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А. И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К. Производство волокнистых полуфабрикатов из листовых пород древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

2. Галеева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 320 с.
3. ГОСТ 10070–74. Целлюлоза и полуцеллюлоза. Метод определения степени делигнификации. Введен 01.01.1975 .
4. Демидов М.Л., Миловидова Л.А., Гурьев А.В. Разработка и оптимизация режимов варки полуцеллюлозы из осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 2. С. 44 – 46.
5. Козубова Г.М., Зотова-Спановская Н.П. Диагностические признаки древесины и целлюлозных волокон, применяемых в целлюлозно-бумажной промышленности. Петрозаводск: Кар. филиал АН СССР, 1976. 152 с.
6. Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Фадеев Б.А., Грудинин В.П., Серебряков В.Н., Сумарокова Л.К. Влияние породного состава лиственной щепы на свойства целлюлозы//Технология волокнистых полуфабрикатов: сб. тр. / ЦНИИБ. М.: ВНИПИЭИ-леспром, 1988. С. 96–100.
7. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 386 с.
8. Окулова Е.О., Гурьев А.В. Компьютерная визуализация и идентификация волокон сосудов лиственной целлюлозы // Химия и технология растительных веществ: Материалы VIII Всерос. науч. конф. Калининград, 2013. С. 170.
9. Химия древесины / Пер. с финского Р.В. Заводова под ред. М.А. Иванова. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 400 с.
10. Шарков В.И., Куйбина Н.И. Химия гемицеллюлоз. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 440 с.
11. Karlsson H. Fiber Guide – Fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry. AB Lorentzen @Wette, ISTA, Sweden, 2006. 120 p.

Поступила 30.04.15

UDC 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.121

### **Determination of Species Composition of Hardwood Pulp and Semi-Chemical Pulp**

*E.O. Okulova, Postgraduate Student*

*A.V. Gur'ev, 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: e.okulova@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru

Currently, hardwood is used for production of mass fibrous semi-finished products for paper and cardboard. The wood of birch and aspen in different ratios is mainly used in Russia. The basic structural elements of deciduous wood in the semi-finished products are the fibers of a libriform of vessels. Anatomically the fibers of a libriform are very difficult to be distinguished, but the fibers of vessels have the characteristic diagnostic features – the structure of a perforation plate. In aspen wood it is simple, in birch wood it has a ladder structure with many partitions. On the basis of the specified features the authors developed a method of computer visualization and the program algorithm to detect an aspen and birch fiber vessels. This program is intended for the statistical analysis of the species composition of wood fi-

bers according to micrographs. The program was tested on the samples of sulfate unbleached pulp produced from 100 % wood of aspen and birch. Mixtures were prepared by weighing with a predetermined ratio of fibers (10 % for a step). As a result of the researches the discrepancy of the expected and actual quantity of vessels of aspen and birch is established. To evaluate the effect of the ratio of hardwood species on the properties of semi-finished products in a laboratory three ways of semi-finished products were simulated, which are mainly used in the processing of wood of aspen and birch: cooking with green liquor and sodium-soda cooking and kraft pulping. Laboratory samples were obtained from these semi-finished products by mixing them by the gravimetric method (20 % for a step) in the range from 0 to 100 % of one of the species. Grinding was carried out in the Yokro's mill up to 20 °SR. The analysis of the main indicators of physical and mechanical properties (breaking length, tear resistance, strength of fibre) of laboratory castings of semi-chemical pulp (125 g/m<sup>2</sup>), and bleached sulphate pulp (60 g/m<sup>2</sup>) is conducted. The difference between the calculated and the actual ratio of the number of vessels in mixtures with a given percentage is found. The dependence of the ratio of the composite structure on the physical and mechanical properties is studied. The dynamics of deterioration in the strength properties of the laboratory samples with the increasing share of aspen fiber in their composition is demonstrated.

**Keywords:** hardwood vessel, computer visualization, breaking length, tear resistance, strength of fibre.

#### REFERENCES

1. Bobrov A. I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malyshkina V.K. *Proizvodstvo voloknistykh polufabrikatov iz listvennoy drevesiny* [Production of Hardwood Fibrous Semi-Finished]. Moscow, 1984. 248 p.
2. Galeeva N.A. *Proizvodstvo polutsellyulozy i tsellyulozy vysokogo vykhoda* [Production of High Yield Semi-Chemical Pulp and Pulp]. Moscow, 1970. 320 p.
3. GOST 10070–74. *Tsellyuloza i polutsellyuloza. Metod opredeleniya stepeni delignifikatsii* [State Standard 10070–74. Pulp and Semi-Chemical Pulp. Method for the Degree of Delignification Determination]. Moscow, 1975.
4. Demidov M.L., Milovidova L.A., Gur'ev A.V. Razrabotka i optimizatsiya rezhimov varki polutsellyulozy iz osiny [Development and Optimization of Semi-Chemical Pulping of Aspen]. *Bumaga. Tsellyuloza. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2011, no. 2, pp. 44–46.
5. Kozubova G.M., Zotova-Spanovskaya N.P. *Diagnostichestkie priznaki drevesiny i tsellyuloznykh volokon, primenyaemykh v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Diagnostic Features of Wood and Cellulose Fibers Used in the Pulp and Paper Industry]. Petrozavodsk, 1976. 152 p.
6. Mutovina M.G., Bondareva T.A., Fadeev B.A., Grudinin V.P., Serebryakov V.N., Sumarokova L.K. Vliyanie porodnogo sostava listvennoy shchepy na svoystva tsellyulozy [Influence of the Species Composition of Hardwood Chips on the Properties of Cellulose]. *Tekhnologiya voloknistykh polufabrikatov* [Technology of Fiber Semi-Finished Products], 1988, pp. 96–100.
7. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Wood and Pulp Chemistry]. Moscow, 1978. 386 p.

8. Okulova E.O., Gur'ev A.V. Komp'yuternaya vizualizatsiya i identifikatsiya volokon sosudov listvennoy tsellyulozy [Computer Visualization and Identification of Vessels Fibers of Hardwood Pulp]. *Khimiya i tekhnologiya rastitel'nykh veshchestv: Materialy VIII Vseros. nauch. konf.* [Chemistry and Technology of Plant Substances. Proc. VIII Sci. Conf.]. Kaliningrad, 2012.

9. *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry]. Ed. by M.A. Ivanov. Moscow, 1982. 400 p.

10. Sharkov V.I., Kuybina N.I. *Khimiya gemitsellyuloz* [Hemicellulose Chemistry]. Moscow, 1972 p. 440 p.

11. Karlsson H. *Fiber Guide – Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. 2006. 120 p.

Received on April 30, 2015

УДК 661.183.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.131

## **АДСОРБЦИОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТОВОСПРИИМЧИВЫХ АДСОРБЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА**

*М.А. Архилин, асп.*

*Н.И. Богданович, д-р техн. наук, проф.*

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

Адсорбционные процессы широко используют в промышленности при извлечении различных веществ и очистке растворов. Наиболее распространенными промышленными адсорбентами являются активные угли. Однако современные углеродные адсорбенты обладают рядом недостатков, которых лишены органо-минеральные магнитовосприимчивые адсорбенты. В мире активно разрабатываются адсорбенты, обладающие магнитной восприимчивостью. При использовании в технологии они легко отделяются от обрабатываемой жидкой фазы приложением магнитного поля, что интенсифицирует технологический процесс. Магнитовосприимчивые адсорбенты были получены путем химической активации гидролизного лигнина с гидроксидом железа (III), который при этом восстанавливался до магнитных форм железа и приводил к выгоранию углерода в гидролизном лигнине, тем самым активируя углеродную матрицу. Синтез адсорбентов проводили методом планированного эксперимента. Был использован центральный композиционный ротатабельный униформ-план второго порядка для трех факторов. Исследовали влияние температуры пиролиза, дозировки  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и pH конечной точки осаждения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Полученные адсорбенты были охарактеризованы по адсорбционным и магнитным свойствам, установлен характер зависимости свойств от условий синтеза адсорбентов. На основе экспериментальных данных рассчитаны уравнения регрессии со значимыми коэффициентами, являющиеся математическими моделями зависимости исследуемых свойств от варьируемых факторов. Модели позволяют без проведения эксперимента прогнозировать свойства адсорбентов в исследуемом интервале варьирования факторов. Показано, что полученные адсорбенты обладают высокими адсорбционными свойствами как по иоду, так и по метиленовому голубому. Некоторые образцы по магнитной восприимчивости приближаются к магнетиту, однако наилучшие условия для высоких адсорбционных и магнитных свойств лежат в разных областях. Нами подобраны области условного оптимума в исследованном интервале варьируемых параметров.

*Ключевые слова:* лигнин гидролизный, адсорбенты органо-минеральные, углеродминеральные, магнитовосприимчивые, ферромагнитные.

### *Введение*

Адсорбенты используют в промышленности при извлечении различных ценных веществ (золото, иод), при очистке вод и различных промышленных растворов. Адсорбция в сравнении с другими процессами разделения компо-

нентов имеет ряд преимуществ: высокая эффективность разделения, легкость регенерации отработанного сорбента, экономичность и др. [8]. Современные промышленные сорбенты бывают двух основных типов – гранулированные и порошковые. Гранулированные адсорбенты отличаются тем, что ими можно наполнять адсорбционные колонны, при этом отпадает необходимость отделения адсорбента от раствора. Однако из-за большого размера частиц такой адсорбент обладает низкими кинетическими характеристиками, а необходимость грануляции сказывается на стоимости адсорбента и снижает адсорбционные свойства получаемого материала. Поэтому отмечается тенденция к использованию порошковых адсорбентов, которые значительно быстрее поглощают целевой компонент, обладают повышенными адсорбционными свойствами и относительно дешевле. В этом случае проблемой является отделение порошкового адсорбента. Из-за малого размера частиц и плотности, близкой к плотности воды, порошковый адсорбент чрезвычайно трудно отделить отстаиванием, поэтому в таких случаях используют стадию фильтрации раствора через зернистые фильтры. Фильтрация – медленный процесс, поэтому ученые работают над созданием порошкового адсорбента, обладающего магнитной восприимчивостью [8]. Магнитовосприимчивый адсорбент может быть легко отделен от обрабатываемой фазы с помощью магнитного сепаратора, при этом он сохраняет преимущества порошкового адсорбента.

Разработка магнитовосприимчивых адсорбентов в мире ведется различными способами: модифицирование активного угля магнитными наночастицами [8], пиролиз различных полимеров в присутствии солей Fe, Ni и Co [5–7], модификация органических отходов в целях придания магнитных свойств [10]. Также распространены покрытие магнитных частиц мезопористым углеродом [9] и синтез пористого маггемита  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [4].

#### *Методы исследования*

Нами был проведен синтез магнитовосприимчивых адсорбентов по предложенному ранее способу [3], заключающемуся в термической активации углеродсодержащего сырья гидроксидом железа (III). При этом часть углерода выгорает, а в зависимости от условий  $\text{Fe}_3(\text{OH})_3$  восстанавливается до  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , FeO,  $\alpha\text{-Fe}$  и  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Магнитными свойствами обладают только магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\alpha\text{-Fe}$ . Полученные адсорбенты по химическому составу являются органоминеральными, или углеродминеральными, что связано с содержанием большого количества соединений железа – продуктов восстановления  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

В качестве исходного сырья использовали гидролизный лигнин, который обрабатывали раствором сульфата железа (III). Концентрированным раствором аммиака корректировали pH конечной точки осаждения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Полученный осадок – смесь лигнина и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  – подвергали пиролизу в трубчатой печи СУОЛ-0.44 в кварцевой трубке в атмосфере образующихся парогазов. Продолжительность пиролиза составляла 30 мин. Ниже представлена схема экспериментальной установки (рис. 1).

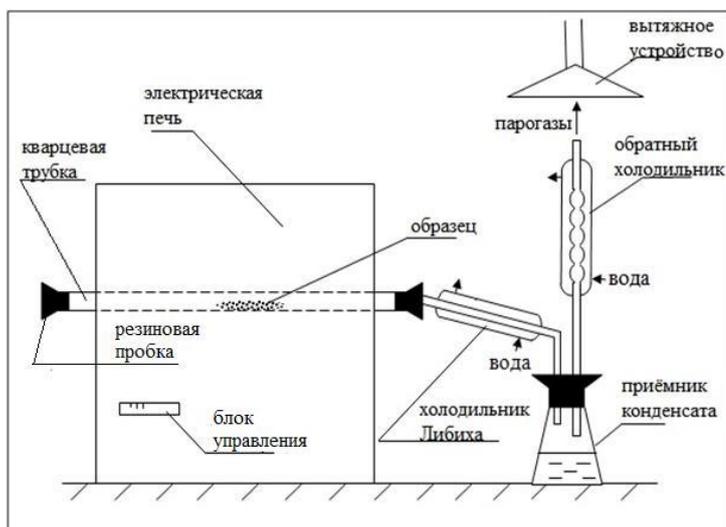


Рис. 1. Схема установки для получения адсорбентов

Синтез магнитовосприимчивых адсорбентов и исследование их свойств проводили методом планированного эксперимента. Изучали влияние варьируемых факторов на выход, адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов. По полученным данным рассчитывали коэффициенты для уравнений регрессии. Адекватность полученных моделей проверяли по критерию Фишера, отбрасывали незначимые коэффициенты. Уравнения регрессии со значимыми коэффициентами представляют собой математическую модель зависимости выходных параметров от заданных варьируемых факторов, представленных в кодированных значениях. На основе полученных уравнений строили поверхности отклика, которые наглядно показывают характер зависимости исследуемых свойств адсорбента от условий их приготовления. Так как выходные параметры в условиях опытов должны изменяться по простым функциональным зависимостям не выше второго порядка, в качестве плана был применен центральный композиционный ротатабельный униформ-план. Варьируемыми параметрами были выбраны дозировка гидроксида железа (III) в пересчете на  $Fe_2O_3$ , pH конечной точки осаждения  $Fe(OH)_3$ , температура пиролиза. Значение и интервалы варьирования факторов представлены в таблице.

Адсорбционные свойства изучали по общепринятым методикам. Для адсорбции из жидкой фазы использовали растворы метиленового голубого (МГ) и иода ( $I_2$ ), для адсорбции из газовой фазы – пары гексана и водяной пар. Относительную магнитную восприимчивость образцов измеряли на установке, описание которой приведено в работе [2].

## Матрица планирования эксперимента

Переменные факторы	Шаг варьирования $\lambda$	Уровни варьирования факторов				
		-1,682 ( $-\alpha$ )	-1	0	1	1,682 ( $+\alpha$ )
Дозировка $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %, $X_1$ ,	5	21,6	25	30	35	38,4
pH обработки образца, $X_2$	1,2	6,0	6,8	8,0	9,2	10,0
Температура пиролиза, $X_3$	40	773	800	840	880	907

Соответственно, выходными параметрами в нашей системе являлись выход адсорбента, относительная магнитная восприимчивость и адсорбционная активность по тестовым веществам.

Полученные экспериментальные данные использовали для расчета коэффициентов уравнений регрессии и разработки статистических моделей, связывающих значения выходных параметров с условиями их получения.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Значения критерия Фишера не превышали критических значений, т. е. все уравнения со значимыми коэффициентами оказались адекватными. Поэтому их можно считать математическими моделями процесса синтеза.

Уравнения регрессии для магнитовосприимчивых адсорбентов:

$$\begin{aligned} A(\text{MГ}) &= 333 + 30,5X_1 + 12,8X_2 + 14,7X_3 + 16,9X_2X_3 - 10,2X_2^2; \\ A(\text{I}_2) &= 1124 + 184X_1 + 163X_3 + 65X_1X_3; \\ A(\text{Г}) &= 210,3 - 70,2X_3 + 13,5X_1X_3 - 7,4X_1^2 + 23,4X_2^2 + 11,7X_3^2; \\ A(\text{H}_2\text{O}) &= 164,0 + 18,6X_2 - 19,4X_2^2 - 25,9X_3^2; \\ \text{OMB} &= 37 - 3,5X_1 - 4,7X_2 - 7,6X_1X_2 + 4,1X_1X_3 - 3,4X_1^2 + 4,9X_2^2 + 5,1X_3^2; \\ \text{В} &= 44 - 1,2X_3 - 0,5X_2^2 - 0,8X_3^2. \end{aligned}$$

Здесь  $A(\text{MГ})$  – адсорбционная активность по  $\text{MГ}$ , мг/г;

$A(\text{I}_2)$  – адсорбционная активность по йоду, мг/г;

$A(\text{Г})$  – адсорбционная активность по парам гексана, мг/г;

$A(\text{H}_2\text{O})$  – адсорбционная активность по парам воды, мг/г;

$\text{OMB}$  – относительная магнитная восприимчивость, %;

$\text{В}$  – выход адсорбента, %.

По уравнениям регрессии и построенным на их основе поверхностям отклика были выявлены следующие зависимости.

Увеличение дозировки железа снижает соотношение лигнин :  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , тем самым уменьшается степень восстановления железа (III) в  $\text{FeO}$  и  $\alpha\text{-Fe}$  ( $\text{FeO}$  соединяется с  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Соответственно,  $\text{OMB}$  снижается (рис. 2). Повышение температуры увеличивает магнитную восприимчивость. При низких дозировках железа повышение pH приводит к росту  $\text{OMB}$ , при высоких дозировках железа – к ее понижению.  $\text{OMB}$  лучших образцов достигает 92 % от значения для магнетита. Магнитная восприимчивость свежесожденного магнетита, выбранного в качестве образца сравнения, составляет

30,5 г/г<sub>Fe</sub>, или 100 %[1]. Для придания хороших магнитных свойств адсорбенту целесообразно вводить не более 30 % магнитного компонента. Поэтому для поиска оптимальных адсорбционных свойств приняли дополнительное условие:  $OMB \geq 30 \%$ .

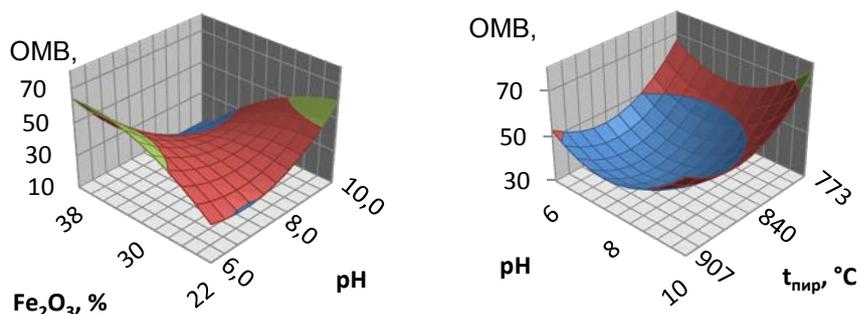


Рис. 2. Зависимость магнитной восприимчивости от исследуемых факторов

Адсорбционная активность по МГ характеризует адсорбцию в мезопорах: при повышении температуры пиролиза, pH и увеличении дозировки Fe(OH)<sub>3</sub> она возрастает (рис. 3).

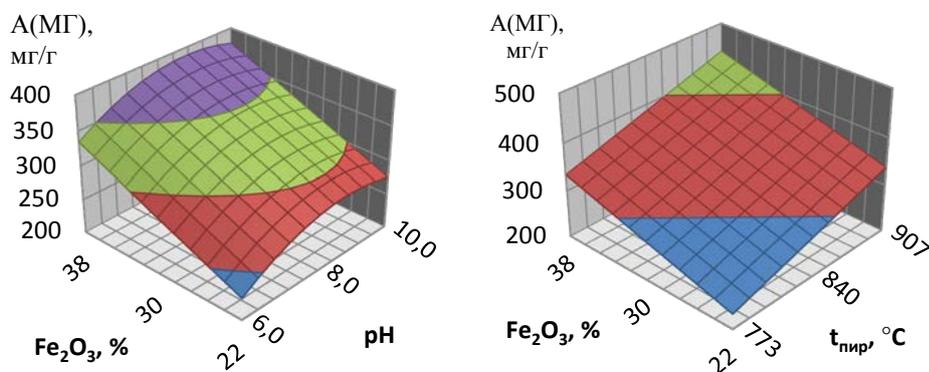


Рис. 3. Зависимость адсорбционной активности по МГ от исследуемых факторов

Сходным образом дозировка Fe(OH)<sub>3</sub> и температура пиролиза влияют и на активность по иоду, характеризующую адсорбцию в микропорах, однако в этом случае pH не оказывает заметного влияния (рис. 4). Наилучшие условия для синтеза адсорбентов с максимальной адсорбционной активностью по МГ являются: дозировка железа в пересчете на Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 38,4 %, pH – 10, температура пиролиза ( $t_{\text{пир}}$ ) – 910 °C, A(МГ) – 450 мг/г, OMB – 34 %. При этом адсорбционная активность по иоду также будет максимальной ( $A(I_2) = 1900$  мг/г).

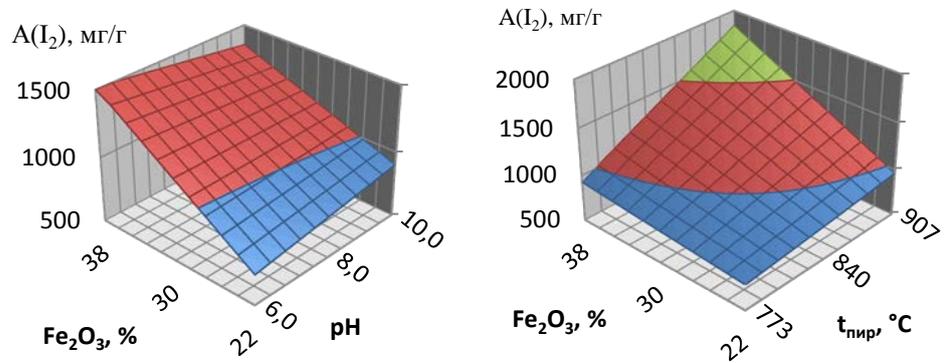


Рис. 4. Зависимость адсорбционной активности по иоду от исследуемых факторов

Для синтеза адсорбентов с максимальным значением только по  $A(I_2)$  желательно рН снизить до 6, так как снижение рН хоть и не влияет на адсорбцию иода, однако сильно повышает магнитную восприимчивость (с 34 до 92 %) и способствует экономии щелочного реагента.

Адсорбция паров гексана характеризует гидрофобность поверхности адсорбента. Она увеличивается с повышением температуры пиролиза. При высоких температурах снижение дозировки  $Fe(OH)_3$  увеличивает адсорбцию гексана, при низких – наоборот. Зависимость адсорбции гексана от рН проходит через минимум (рис. 5).

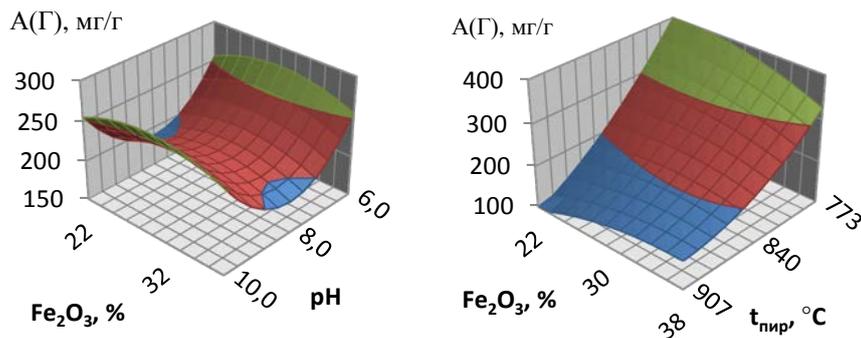


Рис. 5. Зависимость адсорбционной активности по гексану от исследуемых факторов

Адсорбция паров воды характеризует функционализацию поверхности полярными группами. Она не зависит от дозировки железа, зависимости от рН и температуры пиролиза проходят через максимум (рис. 6).

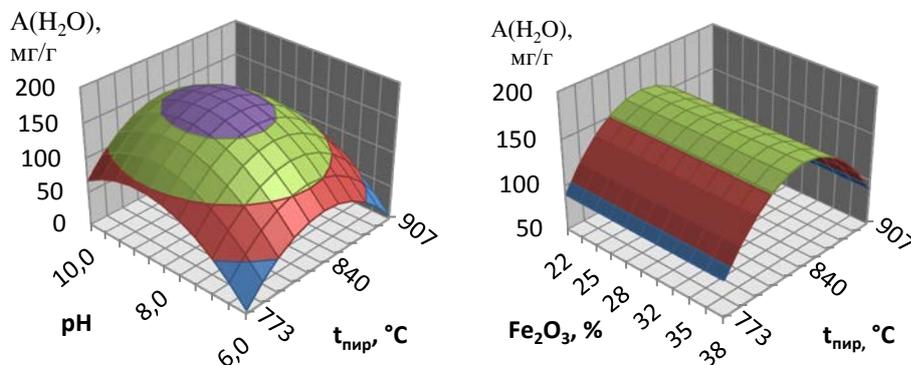


Рис. 6. Зависимость адсорбции водяного пара от исследуемых факторов

Температура пиролиза снижает выход адсорбентов. Наблюдается меньший выход адсорбентов при средних дозировках  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  и крайних значениях pH конечной точки осаждения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (рис. 7).

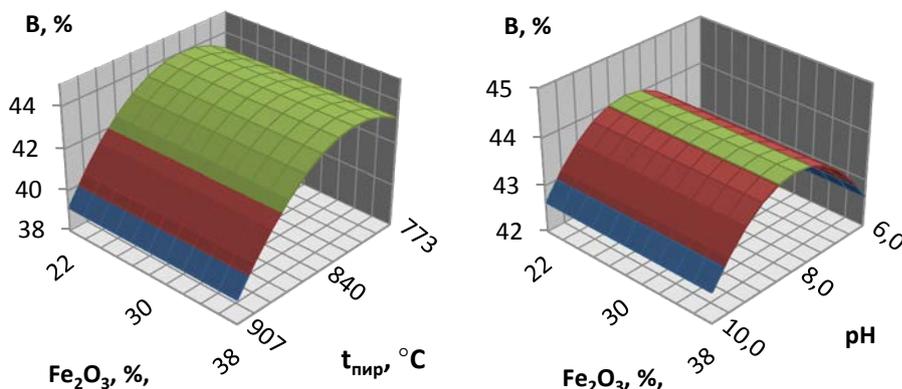


Рис. 7. Зависимость выхода адсорбента от исследуемых факторов

### Заключение

Таким образом, нами была исследована зависимость выхода, магнитных и адсорбционных свойств адсорбента от дозировки гидроксида железа (III), температуры пиролиза и pH осаждения  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  в исследуемом интервале варьирования факторов. Найдены наилучшие условия для получения как осветляющих (крупнопористых) адсорбентов, характеризующихся по адсорбции МГ, так и для адсорбентов, поглощающих низкомолекулярные примеси и характеризующихся по адсорбции иода. Адсорбционная активность для лучших

адсорбентов соответствует требованиям ГОСТ по адсорбции МГ ( $\geq 225$  мг/г) и иода ( $\geq 800$  мг/г) и превосходит по этим показателям промышленные отечественные образцы. Все это вкуче с хорошими магнитными свойствами представляет интерес для дальнейшего изучения и разработки промышленного производства магнитовосприимчивых адсорбентов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2476382 РФ. Способ получения магнитоактивного соединения / Хабаров Ю.Г., Бабкин И.М.; заявл. 30.09.2011; опубл. 27.02.2013.
2. Хабаров Ю.Г., Бабкин И.М., Вешняков В.А. Синтез магнитоактивного соединения на основе сульфата железа (II) // Журн. прикл. хим. 2012. Т. 85, № 6. С. 900–905.
3. Шевченко Р.С., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Добеле Г.В. Формирование сорбционных и магнитных свойств ферромагнитных адсорбентов при пиролизе отходов переработки древесины в присутствии гидроксида железа (III) // Лесн. журн. 1999. № 2-3. С.142–150. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Asuha S., Gao Y.W., Deligeer W., Yu M., Suyala B., Zhao S. Adsorptive removal of methyl orange using mesoporous maghemite // J. Porous Mater. 2011. Vol. 18, N 5. P. 581–587.
5. Dai M, Vogt B.D. High capacity magnetic mesoporous carbon-cobalt composite adsorbents for removal of methylene green from aqueous solutions // J. of Colloid and Interface Sci. 2012. Vol. 387, N 1. P. 127–134.
6. Kim B.C., Lee J., Um W., Kim J., Joo J., Lee J.H., Kwak J.H., Kim J.H., Lee C., Lee H., Addleman R.S., Hyeon T., Gu M.B., Kim J. Magnetic mesoporous materials for removal of environmental wastes // J. of Hazardous Materials. 2011. Vol. 192, N 3. P. 1140–1147.
7. Wang X., Dai S. A simple method to ordered mesoporous carbons containing nickel nanoparticles // Adsorption. 2009. Vol. 15, N 2. P. 138–144.
8. Wang T., Liang L., Wang R., Jiang Y., Lin K., Sun J. Magnetic mesoporous carbon for efficient removal of organic pollutants // Adsorption. 2012. Vol. 18, N 5-6. P. 439–444.
9. Yin Y., Zhou S., Min C., Wu L. Preparation of rattle-type magnetic mesoporous carbon spheres and their highly efficient adsorption and separation // J. Colloid and Interface Sci. 2011. Vol. 361, N 2. P. 527–533.
10. Yu J.-X., Wang L.-Y., Chi R.-A., Zhang Y.-F., Xu Z.-G., Guo J. A simple method to prepare magnetic modified beer yeast and its application for cationic dye adsorption // Envir Sci Pollut Res. 2013. Vol. 20, N 1. P. 543–551.

Поступила 20.03.15

UDC 661.183.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.131

### Adsorption and Magnetic Properties of Magneto Susceptible Adsorbents, Obtained on the Basis of Hydrolytic Lignin

*M.A. Arkhilin, Postgraduate Student*

*N.I. Bogdanovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

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

Adsorption processes are widely used in industry by recovery for removing various substances and purification of solutions. Most common commercial adsorbents are active carbon materials. However modern carbon adsorbents have disadvantages that are absent at magneto susceptible organomineral adsorbents. The development of adsorbents possessing magnetic susceptibility is actively pursued in the world. The use of such adsorbents in technology makes it easy to separate them from the treated liquid phase by applying a magnetic field and to intensify the technological process. Magneto susceptible adsorbents were prepared by chemical activation of hydrolytic lignin with iron hydroxide (III).  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  was reduced to magnetic forms of Fe and promoted to burn-off carbon from hydrolytic lignin that led to activation of a carbon matrix. Synthesis of adsorbents was performed by the planned experiment. The central rotatable second-order uniform plan for the three factors was used. The effect of pyrolysis temperature, iron hydroxide dosage and pH of the end point of  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  precipitation were investigated. The resulting adsorbents were characterized by the adsorption and magnetic properties, the nature of properties dependence on the synthesis conditions of adsorbents was established. On the basis of experimental data the regression equations with significant coefficients are calculated. They are the mathematic models of properties dependence on the varied factors. The models allow us to predict the properties of adsorbents in the investigated range of variation of parameters. The obtained adsorbents have high adsorption properties towards either iodine or methylene blue. Some samples have magnetic susceptibility value closed to magnetite, but the best conditions for high adsorption and magnetic properties are situated in different areas. We found the areas of conditional optimum in the investigated interval of varied parameters.

*Keywords: hydrolytic lignin, adsorbent organo-mineral, carbon-mineral, magneto susceptible, ferromagnetic.*

#### REFERENCES

1. Khabarov Yu.G., Babkin I.M. *Sposob polucheniya magnitoaktivnogo soedineniya* [A Method for Producing Magnetically Active Compound]. Patent RF 2476382, 2011.
2. Khabarov Yu.G., Babkin I.M., Veshnyakov V.A. Sintez magnitoaktivnogo soedineniya na osnove sulfata zheleza (II) [Synthesis of Magneto Active Compound Based on Iron Sulphate (II)]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2012, vol. 85, no. 6, pp. 900–905.
3. Shevchenko R.S., Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Dobelev G.V. Formirovanie sorbtionnykh i magnitnykh svoystv ferromagnitnykh adsorbentov pri pirolize otkhodov pererabotki drevesiny v prisutstvii gidroksida zheleza (III) [Formation of Adsorption and Magnetic Properties of Ferromagnetic Adsorbents by Pyrolysis of Wood Processing Wastes with Iron Hydroxide (III)]. *Lesnoy zhurnal*, 1999, no. 2–3, pp. 142–150.
4. Asuha S., Gao Y.W., Deligeer W., Yu M., Suyala B., Zhao S. Adsorptive Removal of Methyl Orange Using Mesoporous Maghemite. *J. Porous Mater.*, 2011, no. 18, pp. 58–587. doi: 10.1007/s10934-010-9412-2.
5. Dai M, Vogt B.D. High Capacity Magnetic Mesoporous Carbon-Cobalt Composite Adsorbents for Removal of Methylene Green From Aqueous Solutions. *J. Of Colloid and Interface Sc.*, 2012, no. 387, pp. 127–134. doi: 10.1016/j.jcis.20120.06.062.
6. Kim B.C., Lee J., Um W., Kim J., Joo J., Lee J.H., Kwak J.H., Kim J.H., Lee C., Lee H., Addleman R.S., Hyeon T., Gu M.B., Kim J. Magnetic Mesoporous Materials for Removal of Environmental Wastes. *J. of Hazardous Materials.*, 2011, no. 192, pp. 1140–1147. doi: 10.1016/j.hazmat.2011.06.022.

7. Wang X., Dai S. A Simple Method to Ordered Mesoporous Carbons Containing Nickel Nanoparticles. *Adsorption*, 2009, no. 15, pp. 138–144. doi: 10.1007/s10450-009-9164-y.

8. Wang T., Liang L., Wang R., Jiang Y., Lin K., Sun J. Magnetic Mesoporous Carbon for Efficient Removal of Organic Pollutants. *Adsorption*, 2012, vol. 18, no. 5–6, pp. 439–444. doi: 10.1007/s10450-012-9430-2.

9. Yin Y., Zhou S., Min C., Wu L. Preparation of Rattle-Type Magnetic Mesoporous Carbon Spheres and Their Highly Efficient Adsorption and Separation. *J. Colloid and Interface Sc.*, 2011, no. 361, pp. 527–533. doi: 10.1016/j.jcis.2011.05.014.

10. Yu J.-X., Wang L.-Y., Chi R.-A., Zhang Y.-F., Xu Z.-G., Guo J. A Simple Method to Prepare Magnetic Modified Beer Yeast and Its Application for Cationic Dye Adsorption. *Envir Sci Pollut Res.*, 2013, no. 20, pp. 543–551. doi: 10.1007/s11356-012-0903-3.

Received on March 20, 2015

---



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 627.83.001.24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.141

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ  
НА ГИДРОСООРУЖЕНИЯХ,  
РАБОТАЮЩИХ ПО СХЕМЕ ВОДОСЛИВА С ШИРОКИМ ПОРОГОМ**

*В.Д. Давыдов, канд. техн. наук*

Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, д. 13,  
г. Краснодар, Россия, 350044; e-mail: dvd194@mail.ru

Известно, что большинство водопропускных сооружений, используемых в различных отраслях водного хозяйства, включая лесосплав, в гидравлическом отношении работает как водослив с широким порогом. Несмотря на значительное число исследований данного типа водослива, начиная с пионерных, выполненных еще учениками Галилео Галилея, целый ряд вопросов остался недостаточно изученным. Вследствие этого существующие методики расчета пропускной способности водослива с широким порогом имеют погрешность более 5...6 %. Такая погрешность при учете расходуемой воды уже не удовлетворяет производство и не соответствует мировым стандартам. При расчете коэффициента расхода, являющегося многопараметрической функцией деформированного потока и сооружения, зачастую учитываются условия входа на порог, относительная высота и относительная ширина порога водослива и совершенно не учитываются потери в пределах самого сооружения. Единичные исследования, проводимые в этом направлении, недостаточно подтверждены лабораторными и натурными данными. Целый ряд методик других авторов позволяет вести расчет пропускной способности водослива конечной ширины только в проектной практике и не пригодны для использования в эксплуатационный период. Поэтому было проведено около 600 лабораторных и натуральных экспериментов, позволивших установить влияние относительной глубины на сходе с порога водослива и ее определяющую роль в расчетах пропускной способности водослива с широким порогом. По данным исследований автора и опытными данными других исследователей, обработанных в соответствии с методикой автора, были построены графики, подтверждающие функциональную зависимость этой глубины от конструктивных особенностей гидросооружений. Математическая обработка массивов опытных данных позволила получить для определения коэффициента расхода водослива новые расчетные зависимости, повысившие точность измерений расходных характеристик данного типа водослива, особенно в эксплуатационный период. Строго выполненные лабораторные и натурные исследования дали возможность разрабатывать новый способ измерения расхода воды, квалифицированный Государственным комитетом по изобретениям как изобретение. При этом были разработаны рекомендации по вопросам оптимизации

расположения створов, где необходимо проводить замеры параметров деформированного гидросооружением потока. Сделан важный вывод о том, что совершенствование учета расходования воды на сооружениях лесосплавного производства предпочтительнее вести путем повышения водомерности этих сооружений за счет внедрения более современных методик расчета пропускной способности, учитывающих большее число параметров потока и сооружения.

*Ключевые слова:* водомерность, гидросооружения, водослив с широким порогом, измерения, способ, погрешность, расчет пропускной способности.

Большинство водопропускных сооружений водохозяйственных систем работает по схеме водослива с широким порогом. Известно, что первыми исследователями, работавшими с водосливом конечной ширины, были ученики Галилео Галилея: Кастелли и Торичелли.

Однако, несмотря на значительное число исследований, посвященных изучению водослива данного типа [1, 2], целый ряд вопросов остались недостаточно изученными. Анализ научных работ в этой области показал, что существующие методики расчета пропускной способности водослива с широким порогом имеют погрешность более 5...6 %. Такая погрешность при учете расходуемой воды уже не удовлетворяет современное производство.

При определении пропускной способности водослива с широким порогом большинство методик учитывает только часть параметров потока, деформированного гидросооружением. При расчете такой сложной характеристики, как коэффициент расхода, чаще всего учитывают только условия входа, относительные высоту и ширину порога водослива и не принимают во внимание потери в пределах самого сооружения.

Для повышения точности учета расходуемой воды, по мнению автора, необходимы данные о параметрах потока перед сооружением и в конце его. Учет параметров потока перед сооружением и в пределах его при расчете коэффициента расхода попытались произвести В.С. Кальфа и Ю.С. Алексеев [2], получившие теоретические зависимости, недостаточно, на взгляд автора, подтвержденные лабораторными и натурными данными.

Автором ранее была получена формула, учитывающая параметры потока перед сооружением и в конце его [1]:

$$m = \frac{h_{cx}}{H_0} \sqrt{1 - \frac{h_{cx}}{H_0}}, \quad (1)$$

где  $h_{cx}$  – глубина на сходе с порога водослива;

$H_0$  – полный напор воды перед сооружением.

Формула (1) внешне похожа на формулу вида [3]:

$$m = \varphi K \sqrt{1 - K}, \quad (2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости;

$$K = \frac{h}{H_0};$$

$h$  – глубина на пороге водослива.

В результате проведенных автором экспериментальных исследований было установлено, что положение створа с глубиной  $h$  постоянно меняется в зависимости от изменения параметров потока и сооружения, а при форме профиля свободной поверхности потока на водосливе с широким порогом, отличной от классической, вообще неопределенно. Об этом свидетельствуют данные лабораторных и натурных исследований. Всего было проведено 597 опытов.

На рис. 1–4 приведены зависимости  $\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  (где  $\frac{P}{H_0}$  – относительная высота порога), показывающие, что независимо от условий входа эта связь четко выражена и, по своей сути, является функциональной. Об этом свидетельствуют и приведенные ниже зависимости:

а) на водосливе с прямоугольным входом:

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,550 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,05} e^{-0,2\frac{P}{H_0}}; \quad (3)$$

б) на водосливе с наклонным входом под углом  $45^\circ$ :

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,535 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,06} e^{-0,09\frac{P}{H_0}}; \quad (4)$$

в) на водосливе с наклонным входом под углом  $30^\circ$ :

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,520 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,06} e^{-0,08\frac{P}{H_0}}; \quad (5)$$

г) на водосливе с закругленным входом при  $\frac{r}{P} = 1$  (где  $r$  – радиус кривизны входного ребра водослива):

$$\frac{h_{\text{сх}}}{H_0} = 0,515 \left(\frac{P}{H_0}\right)^{-0,07} e^{-0,04\frac{P}{H_0}}; \quad (6)$$

где  $e$  – основание неперовых логарифмов.

Исследованиями было также установлено, что при относительной высоте порога  $\frac{P}{H_0} < 1$  коэффициент расхода, получаемый по формуле (1), хорошо согласуется с опытными данными, и расхождение не превышает точности проведения опытов.

Однако при  $\frac{P}{H_0} > 1$  в формулу (1) необходимо введение поправочного коэффициента  $\alpha_R$ , учитывающего расхождение между теоретическими и экспериментальными данными. Расхождение объясняется неравномерностью распределения скоростей потока на сходе с порога водослива, что не учитывается теоретической зависимостью (1).

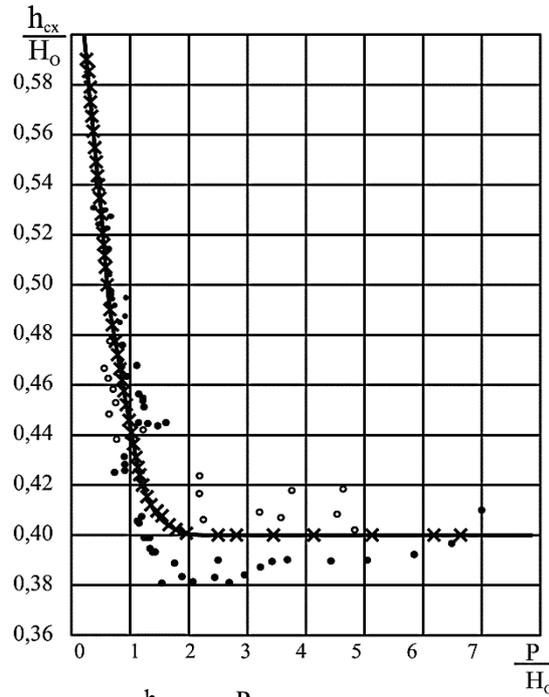


Рис. 1. Зависимость  $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  на водосливе с широким порогом с прямоугольным входом по данным:  
 ● - Г.И. Сухомела и др.; ● - А.Р.Березинского; ○ - В.С. Кальфа; × - автора

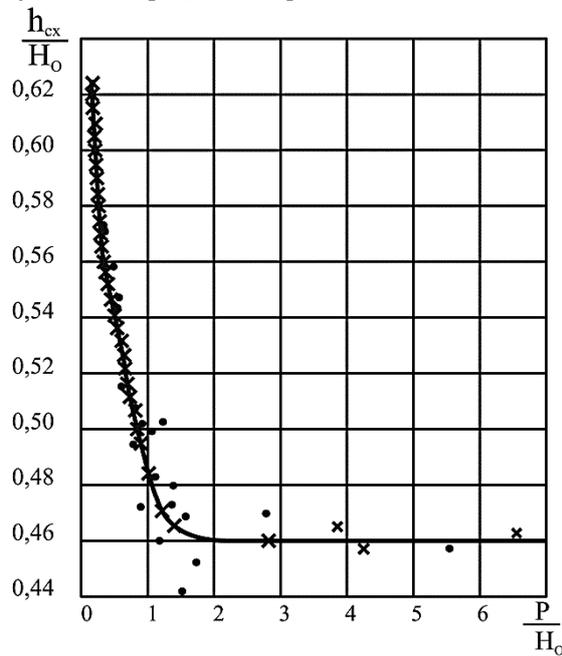


Рис. 2. Зависимость  $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  на водосливе с широким порогом с наклонным входом под углом  $45^\circ$  (данные автора)

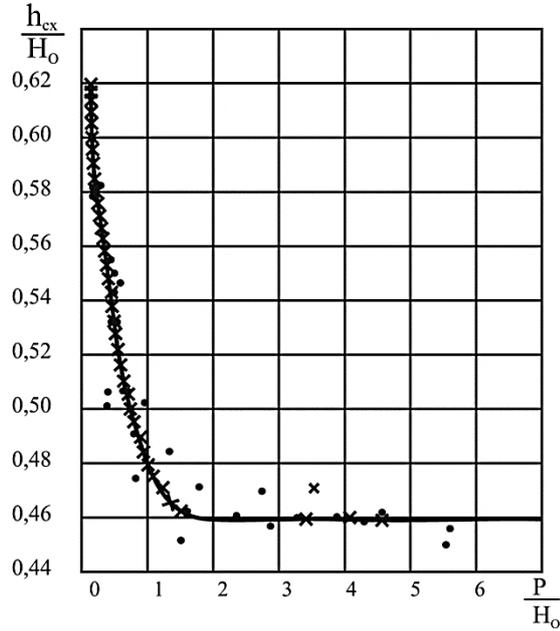


Рис.3. Зависимость  $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  на водосливе с широким порогом с наклонным входом под углом  $30^\circ$  (данные автора)

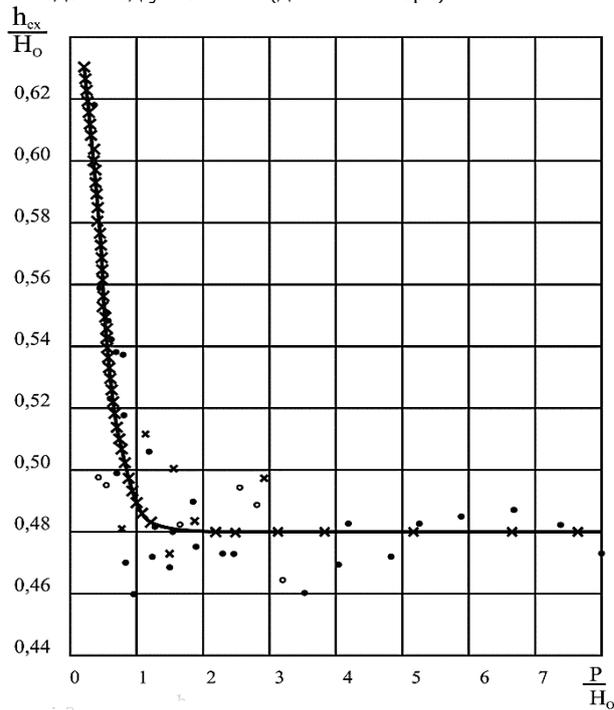


Рис. 4. Зависимость  $\frac{h_{cx}}{H_0} = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  на водосливе с широким порогом с прямоугольным входом по данным: ● - Г.И. Сухомела и др.; ● - А.Р.Березинского; ○ - В.С. Кальфа; × - автора

Для определения  $\alpha_R$  был построен график зависимости  $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$ , приведенный на рис. 5, так как  $\alpha_R$ , как показал анализ экспериментальных данных, практически не зависит от других параметров потока и сооружения. На графике приведены опытные данные автора и данные профессора А.Р. Березинского [3], обработанные в соответствии с методикой исследований автора.

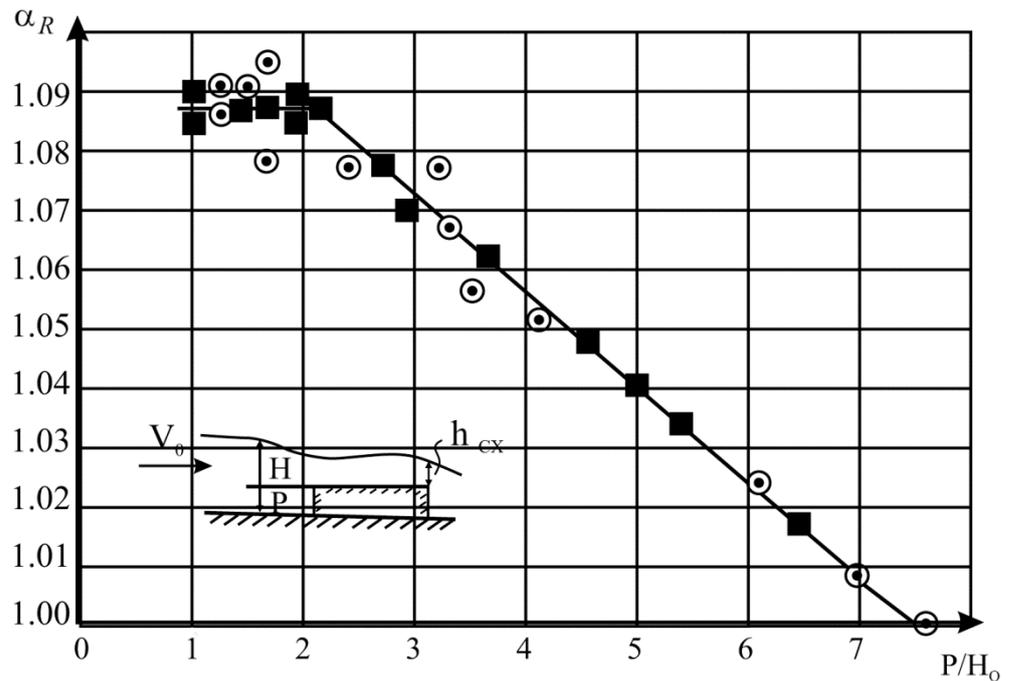


Рис. 5. График зависимости  $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  прямоугольного водослива с широким порогом по данным: ⊙ – профессора А.Р. Березинского; ■ – автора

Анализ зависимости  $\alpha_R = f\left(\frac{P}{H_0}\right)$  на графике показывает, что при  $\frac{P}{H_0} = 1 \dots 2$  поправочный коэффициент  $\alpha_R = 1,09 = \text{const}$ . При дальнейшем возрастании относительной высоты порога водослива  $\alpha_R$  может быть определен по эмпирической зависимости:

$$\alpha_R = 1,1246 - 0,0173 \frac{P}{H_0}, \quad (7)$$

которая действительна при  $2 \leq \frac{P}{H_0} \leq 7,2$ .

Следовательно, при  $\frac{P}{H_0} > 1$  коэффициент расхода следует определять по следующей формуле:

$$m = \alpha_R \frac{h_{cx}}{H_0} \sqrt{1 - \frac{h_{cx}}{H_0}}, \quad (8)$$

а пропускную способность гидросооружений водохозяйственных систем, работающих по схеме водослива с широким порогом, по уравнению

$$Q = \alpha_R b h_{cx} \sqrt{2g(H_0 - h_{cx})}, \quad (9)$$

где  $b$  – ширина водосливного фронта.

Обработка опытных данных проф. А.Р. Березинского и автора показала, что формулы (1), (8) и (9) позволяют учитывать различные конструктивные особенности гидротехнических сооружений водохозяйственных систем (например, наличие пазов, форму быков и др.). Учет влияния конструктивных особенностей сооружений на коэффициент расхода и пропускную способность происходит за счет изменения параметров, особенно глубины на сходе с водослива  $h_{cx}$ . Следует иметь в виду, что значительное число гидросооружений водохозяйственных систем работает при  $\frac{P}{H_0} < 1$ , и  $h_{cx}$  определяется в фиксированном створе.

Последние два обстоятельства послужили основой для разработки нового способа измерения расходов воды [4].

Способ основан на снятии замеров глубин до водослива с широким порогом и в конце его. Для этого в верхнем бьефе устанавливают водомерную рейку (рис. 6) на расстоянии  $4 \dots 5H_0$ , вторую гидрометрическую рейку размещают в нижнем бьефе, в створе схода воды с порога водослива. По рейкам фиксируют уровни воды, а затем определяют глубины  $H_0$  и  $h_{cx}$ . Расход находят по формуле

$$Q = b h_{cx} \sqrt{2g(H_0 - h_{cx})}. \quad (10)$$

Замер глубины в нижнем бьефе производят на сходе с водосливного порога в фиксированном сечении, что позволяет достичь увеличения точности измерения подаваемой на водохозяйственную систему воды.

При работе водослива с широким порогом в затопленном, подтопленном и переходном режимах истечения необходимо вводить в формулу (10) поправочный коэффициент, значения которого приведены в работе [2]. Там же даны рекомендации по расчету «длинных» водосливов или «коротких» каналов и лотков.

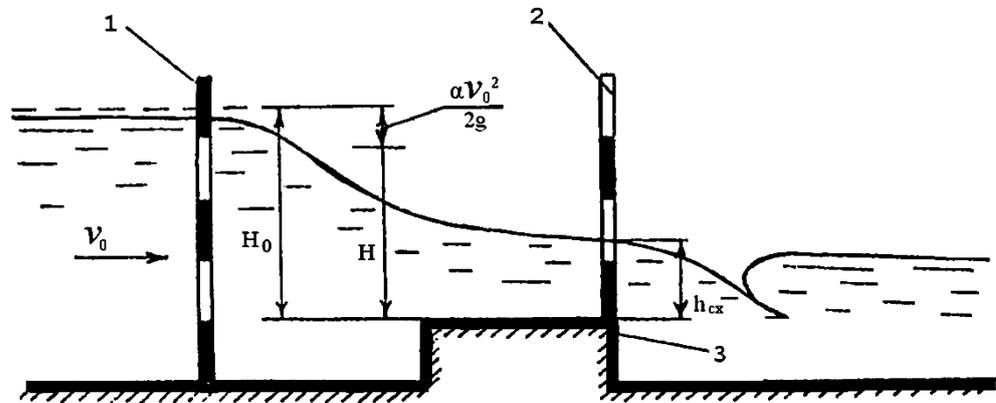


Рис. 6. Способ измерения расхода воды: 1, 2 – водомерные рейки;  
3 – порог водослива

Натурные исследования, проведенные автором на головном сооружении отводящего канала пожарного водоема Лисинского лесхоза, расположенного территориально в районе г. Тосно Ленинградской области, показали полную сходимость результатов исследований с результатами, полученными по теоретической зависимости (10).

#### Выводы

1. Совершенствование учета расходования воды на сооружениях водохозяйственных систем предпочтительнее вести путем повышения водомерных свойств существующих гидросооружений за счет внедрения более современных методик расчета их пропускной способности, учитывающих большее количество параметров потока и сооружения, а также конструктивные особенности сооружения.

2. Коэффициент расхода и пропускную способность гидросооружений водохозяйственного назначения, работающих по схеме водослива с широким порогом в неподтопленном режиме истечения, при относительной высоте порога  $\frac{P}{H_0} < 1$  следует определять по формулам (1) и (10), при  $\frac{P}{H_0} > 1$  – по формулам (8) и (9).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдов В.Д. Исследование руслостеснительных сооружений на сплавных реках, работающих по схеме водослива с широким порогом: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1980. 312 с.

2. Давыдов В.Д. Ресурсосберегающие технологии водоучета. Краснодар: КубГАУ, 2007. 237 с.

3. Березинский А.Р. Пропускная способность водослива с широким порогом. М.; Л.: Госстройиздат, 1950. 126 с.

4. Способ измерения расхода воды: а.с. 1275213 СССР, МКИ С 01 F 1/20/ Давыдов В.Д., Сербинов А.В. (СССР). № 771971/24-10; заявл. 18.07.84; опубл. 07.12.86, Бюл. № 45. 2 с.

Поступила 17.02.14

UDC 627.83.001.24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.141

### **Improving the Determination Accuracy of Costs in the Hydraulic Structures Operating Under the Scheme of a Broad-Crested Weir**

*V.D. Davydov, Candidate of Engineering Sciences*

Kuban State Agrarian University, Kalinin str., 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation; e-mail: dvd194@mail.ru

The most of culverts used in various sectors of water management, including wood floating, in relation to the hydraulic operates as a broad-crested weir. Despite the considerable amount of studies of a weir of this type, since the pilot studies made by the Galileists, there is a number of underinvestigated issues. As a consequence, the existing methods of broad-crested weir calculation have an error of more than 5–6 %. This error in the accounting of consumed water does not satisfy the industry and does not meet the international standards. When calculating the discharge code, which is a multi-parameter function of a strain flow and a structure, we often take into account the conditions of entry at a crest, the relative height and width of a weir crest and do not take into account the operational wastes within the structure itself. A few studies conducted in this area are not enough confirmed by laboratory and field data. A number of techniques of other authors allows us to calculate the spillway capacity of the finite width only in a design practice and are not suitable for use in the maintenance period. Therefore, about 600 laboratory and field experiments have been conducted, which allowed establishing the effect of the relative depth at the crest of weir and its decisive role in the calculation of the spillway capacity with a broad-crested weir. Based on the author's studies and the experimental data of other researchers treated according to the author's method, the graphs were constructed, confirming the functional dependence of the depth on the design features of the hydraulic structures. Mathematical processing of experimental data provided new calculation dependencies to determine the weir coefficient. These dependencies improved the accuracy of measurements of flow characteristics of this type of weir, especially in the maintenance period. Strict implementation of laboratory and field studies gave an opportunity to develop a new method for water consumption measuring, qualified by the State Committee for Inventions as the invention. The authors developed the recommendations for optimizing the location of cross sections, to carry out the measurements of the flow parameters deformed by a hydraulic structure. Analysis of the studies also helps to make the important conclusion that the improvement of water consumption accounting in the structures of the floating plants is preferable to conduct by the increase of

water measuring in these structures due to the introducing of the modern methods of weir calculation, taking into account the increasing number of flow and structure parameters.

*Keywords:* water regularity, hydraulic structure, broad-crested weir, measurement, method, error, weir calculation.

#### REFERENCES

1. Davydov V.D. *Issledovanie ruslostesnitel'nykh sooruzheniy na splavnykh rekakh, rabotayushchikh po skheme vodosliva s shirokim porogom*: dis. ... kand. tekhn. nauk [The Research of the Bed Restricting Structures on the Floating Rivers, Operating Under the Scheme of a Broad-Crested Weir: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, 1980. 312 p.
2. Davydov V.D. *Resursoberegayushchie tekhnologii vodoucheta* [The Resource Saving Water Metering Technology]. Krasnodar, 2007. 237 p.
3. Berezinskiy A.R. *Propusknaya sposobnost' vodosliva s shirokim porogom* [A Carrying Capacity of a Broad-Crested Weir]. Moscow; Leningrad, 1950. 126 p.
4. Davydov V.D., Serbinov A.V. *Sposob izmereniya raskhoda vody* [A Method of Water Measurement]. Certificate of authorship, no. 1275213, 1984.

Received on February 17, 2014

---

---



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.151

### ИНТЕРЕСНАЯ И ПОЛЕЗНАЯ КНИГА

*В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.*

*Н.А. Бабич, д-р с.-х. наук, проф.*

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

В связи с востребованностью и очередным Конгрессом ИЮФРО, прошедшем в прошлом году в Солт-Лейк-Сити (США), в издательстве Московского государственного университета леса (МГУЛ) вышло второе издание (первое опубликовано в 2014 г.) достаточно уникальной в своем роде двухтомной монографии профессора Сеульского государственного университета В.К. Теплякова и профессора МГУЛ В.С. Шалаева «История съездов ИЮФРО и Россия».

Авторы имеют определенный авторитет в российском лесном сообществе и, что важно, в среде Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). История ИЮФРО – старейшей в мире негосударственной организации, координирующей лесные научные исследования в мире во всем их разнообразии, за более чем 120 лет ее существования не была изложена в единой книге не только в России, но и за рубежом.

В монографии отражены не только предпосылки возникновения идеи, но и история образования в 1892 г. Международного союза лесных опытных станций – прообраза ИЮФРО, показаны основные этапы развития Союза, его съезды и конгрессы, участие в работе ИЮФРО российских ученых, исследователей, руководителей и специалистов лесного комплекса: В.А. Тихонова, Г.Ф. Морозова и др. – на первом этапе; В.Н. Сукачева, И.С. Мелехова и др. – в дальнейшем и до настоящего времени. В книге приведены не публиковавшиеся ранее документы и фотографии, другие интересные материалы. В соответствующих приложениях сконцентрированы основные вехи развития Союза, оценено участие представителей нашей страны как функционеров ИЮФРО в работе съездов-конгрессов.

В 2017 г. Международный союз лесных исследовательских организаций будет отмечать свое 125-летие. Представители нашей страны участвовали почти во всех его съездах. Однако авторы считают, что количество вовлеченных в деятельность Союза российских организаций и научных работников, профессоров, аспирантов, студентов все-таки не соответствует месту, занимаемому

Россией и ее наукой в лесном мире. Они подчеркивают полезность, целесообразность и необходимость более широкого участия нашей страны в деятельности Союза. Несмотря на возраст, ИЮФРО – растущая и постоянно развивающаяся организация. Если первоначально членами Союза было лишь несколько научных организаций из стран Центральной Европы, то в настоящее время насчитывается более 15 тыс. ученых из более чем 700 организаций 110 стран мира. Стратегия ИЮФРО в процессе международного сотрудничества заключается в стремлении объединения знаний всех отраслей лесных наук к устойчивому использованию лесных экосистем, что приносит различные выгоды как местному населению, так и обществу в целом. Коллективный интеллект 15-тысячного коллектива нельзя не принимать во внимание. При интеграции в мировое научное пространство Россия должна не только учитывать результаты деятельности ИЮФРО, но и использовать их в совершенствовании отечественной лесной науки. Проблемы многоцелевого использования лесных ресурсов, в частности вопросы глобализации, экологического и социального значения лесных экосистем, «зеленого» будущего нашей планеты, поднимались на конгрессах ИЮФРО еще задолго до их современного звучания. Например, в конце XIX – начале XX вв. передовые отечественные ученые высказывали подобные мысли до их детального обсуждения на встречах тогда еще Ассоциации лесных опытных станций и, позднее, съездах ИЮФРО.

В заключение авторы выражают надежду на расширение участия российских организаций лесного комплекса, наших ученых и производственников, преподавателей, аспирантов и студентов, представителей бизнеса и неправительственных организаций в ИЮФРО и значимое представительство России в международном лесном научном пространстве.

Монография несомненно будет полезна студентам, аспирантам, преподавателям и научным работникам, руководителям лесного сектора, а также тем, кто интересуется вопросами истории лесного хозяйства в России и мире, развития лесной науки, международных научных связей и организаций.

UDC 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.151

#### **Interesting and Useful Book**

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

*N.A. Babich, Doctor of Agriculture Sciences, Professor*

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

УДК 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.153

## ОКНО В ПРИРОДУ! ПРЕКРАСНАЯ КНИГА О ТАЙГЕ БЕЛОМОРЬЯ

*С.В. Залесов, д-р с.-х. наук, проф.*

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: zalesov@usfeu.ru

В век переизбытка информации, когда радио, телевидение, печать ежеминутно выбрасывают огромное количество данных, в том числе о природе и экологии, искушенного читателя трудно чем-либо удивить. Однако и в наш шумный век бывают чудеса. Мне повезло. Почти случайно в мои руки попала книга, написанная рукой человека, влюбленного в природу северной тайги, человека, который не просто умеет увидеть и оценить прекрасное, но способен бережно передать увиденное другим. Речь идет о книге доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации Николая Алексеевича Бабича «Тайга Беломорья», изданной в 2014 г. Издательским домом САФУ.

Книга вобрала в себя объективные научные данные о прекрасной природе Беломорья. В ней нашлось место не только авторскому изложению материала, но и стихам известных поэтов, а также прекрасным фотографиям, позволяющим представить в реальности северные пейзажи. При чтении книги создается такое ощущение, что сам греешься у охотничьего костра, ноют натруженные за день ноги, но вот уже закипает чайник, и близок желанный отдых в избушке, срубленной добрыми людьми из круглых бревен.

Книга, несомненно, будет интересна профессиональным лесоведам и экологам, взрослым и детям, всем, кому не безразлична судьба родной природы. Каждый найдет для себя не только нужную информацию, но и получит огромное удовольствие от фотографий. К сожалению, далеко не каждый может полюбоваться в живой природе стаями гусей на отдыхе, белой куропаткой в период линьки или токующим глухарем.

Охотник и рыбак может сравнить свои трофеи с таковыми у коллег с Севера, а любитель «тихой охоты» не только зимним вечером полюбоваться прекрасным фото белых грибов, подосиновиков и подберезовиков, но и найти рецепт их приготовления.

Не остались обойденными автором и заросли ягодных кустарничков, и опять прекрасные фотографии сочетаются с описанием, рецептами приготовления, стихами классиков.

По сути книга представляет собой популярную иллюстрированную энциклопедию о тайге Беломорья. Можно много и долго описывать неординарное литературное произведение, перечисляя вновь и вновь самые лестные эпитеты. На мой взгляд, у книги есть только один существенный недостаток – чрезвычайно маленький тираж, всего 100 экземпляров. Воистину капля в море!

Книга вполне заслуживает того, чтобы быть настольной у каждого преподавателя биологии. С ней должен иметь возможность ознакомиться любой школьник, учащийся, студент. Жаль, что подобных книг очень мало на полках библиотек. Может поэтому молодое поколение часто не видит и не ценит по достоинству прелесть родной природы, уделяя внимание разрекламированным красотам.

В заключение хочу отметить, что знакомство с книгой Н.А. Бабича «Тайга Беломорья», как глоток чистого лесного воздуха, как экскурсия в босяное детство, когда можно было, не опасаясь, пить воду из лесной речки, как еще одно ненавязчивое предупреждение-напоминание о необходимости беречь прекрасное творение природы – тайгу Беломорья. Книга – свидетельство ее уникальности, неповторимости и ранимости.

Хочется поблагодарить и поздравить автора с большой творческой удачей, пожелать ему здоровья и новых интересных произведений, радующих читателей.

UDC 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.153

**Window to Nature! Great Book about the Taiga of the White Sea Region**

*S.V. Zalesov, Doctor of Agriculture Sciences, Professor*

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy tract, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: zalesov@usfeu.ru



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.155

**УЧЕНОМУ, ПЕДАГОГУ ФЕДОРУ ВАСИЛЬЕВИЧУ КИШЕНКОВУ –  
80 ЛЕТ**

Этот славный юбилей академик РАЕН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный лесовод РФ, почетный работник профессионального образования России Ф.В. Кишенков отметил 6 декабря 2015 г.

Ф.В. Кишенков родился в 1935 г. в небольшом поселке Почепского района Брянской области. В 1951 г. он окончил семь классов средней школы с похвальной грамотой и поступил на отделение лесного хозяйства Трубчевского лесного техникума. Прологом тому послужил высокий авторитет местного лесничего, который поддерживал тесную связь с населением, привлекая к работам в лесу. Получив диплом с отличием по окончании техникума в 1954 г., Федор Васильевич без вступительных экзаменов был принят в Брянский лесохозяйственный институт (ныне Брянский государственный инженерно-технологический университет).

После окончания в 1959 г. института он получает направление на должность лесничего военного лесничества в Калининградской области. В 1961 г. поступает в аспирантуру при кафедре лесной таксации и лесоустройства Брянского технологического института. Руководитель аспирантуры – профессор П.В. Воропанов, видный ученый в области таксации и лесоустройства. В этот период В.Ф. Кишенков активно включается в научно-исследовательскую и педагогическую деятельность.

По результатам успешной защиты диссертации Федору Васильевичу в 1964 г. присуждена ученая степень кандидата сельскохозяйственных наук. Проведенные комплексные исследования позволили ему выявить определенную специфичность строения и продуктивности смешанных березово-еловых насаждений Брянского лесного массива. Было установлено, что основным регулятором, с помощью которого обеспечивается ускорение выращивания ели в смешанных березово-еловых насаждениях, является полнота верхнего яруса. Она должна быть оптимальной как для целей получения наибольшего общего текущего прироста древесины, так и для успешного перевода сложных березово-еловых насаждений в елово-широколиственные.

В 1991 г. Ф.В. Кишенков успешно защищает докторскую диссертацию на тему «Закономерности структуры древостоев и интенсификация выращи-

вания леса в Центрально-Нечерноземной зоне РСФСР», которая посвящена актуальной проблеме повышения продуктивности древостоев и качества лесопользования. Всестороннее изучение роста насаждений позволило Ф.В. Кишенкову методически обосновать и практически выделить элементарные структуры древостоев, установить в динамике их таксационные показатели, разработать модели формирования древостоев, позволяющие интенсифицировать процесс лесовыращивания и увеличивать размеры промежуточного пользования лесом, определить пути совершенствования принципа рубок ухода и методов отбора деревьев в расчете на повышение их лесоводственной и экономической эффективности.

Более 160 опубликованных научных работ Ф.В. Кишенкова посвящено различным проблемам учета леса, проектированию лесохозяйственных мероприятий. Предложенный им метод интенсивных рубок ухода внедрен в лесах Брянской и Калужской областей, цитируется в отечественной и зарубежной литературе по лесоводству. Под его руководством подготовлено 8 кандидатов и 2 доктора наук. Он является членом диссертационного совета в Брянском государственном инженерно-технологическом университете.

Научные исследования Ф.В. Кишенков успешно сочетает с педагогической и организационной работой. В Брянском технологическом институте он прошел путь от ассистента, доцента до профессора кафедры лесоустройства. Обладая большими способностями организатора, на протяжении 20 лет (1992–2012 гг.) возглавлял кафедру лесоустройства и 23 года был деканом лесохозяйственного факультета. Под его руководством на кафедре и факультете были умело продолжены лучшие традиции брянской школы подготовки лесоводов и научных работников для лесной отрасли, поддерживались направления региональности образования, практического обучения студентов, профессиональной компетентности, нравственной чистоты выпускников вуза.

Широкая эрудиция, лекторское мастерство, активная и плодотворная научная и педагогическая деятельность выдвинули Ф.В. Кишенкова в ряд ведущих ученых-таксаторов, подлинных учителей российских лесоводов.

Яркими свидетельствами научных, педагогических и общественных заслуг Федора Васильевича Кишенкова являются его награды: медали «За трудовое отличие» (1981), «Ветеран труда» (1987), медаль ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» (2008), нагрудные знаки Минлесхоза РСФСР «За сбережение и приумножение лесных богатств» (1980), Минвуза СССР «За отличные успехи в работе» (1984). Ему присвоены почетные звания «Заслуженный лесовод РФ» (1994), «Почетный работник высшего профессионального образования России» (2000), «Заслуженный ученый Брянской области» (2012).

Ученый и педагог Федор Васильевич Кишенков полон энергии и больших творческих замыслов и планов на будущее. Многочисленным коллегам

в науке, на производстве, в студенческих аудиториях известны его имя и труды. Все они горячо желают Федору Васильевичу крепкого здоровья, творческих успехов в науке и воспитании молодых служителей Русскому лесу.

*М.Н. Неруш, канд. с.-х. наук, доц.*  
Брянский государственный инженерно-технологический университет

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.155

**A Scientists and a Teacher Fedor Kishenkov – 80 years**

*M.N. Nerush, Candidate of Agriculture Sciences, Associate Professor*  
Bryansk State Engineering and Technological University



УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.158

**ПРОФЕССОР СТЕПАН МИХАЙЛОВИЧ СТОЙКО –  
ВЕХИ ЖИЗНЕОПИСАНИЯ  
(к 95-летию со дня рождения)**

Степан Михайлович Стойко родился 14 марта 1920 г. в с. Кричево Тячевского района Закарпатской области. В г. Хуст окончил классическую гимназию. В 1949 г. окончил лесохозяйственный факультет Львовского сельскохозяйственного института по специальности «Лесное хозяйство».

В 1955 г. решением спецсовета Института ботаники АН УССР получил научную степень кандидата биологических наук, в 1962 г. был утвержден в ученом звании доцента кафедры ботаники и дендрологии Львовского лесотехнического института (ныне Национальный лесотехнический университет Украины). В 1970 г. получил научную степень доктора биологических наук, в 1980 г. ему было присвоено ученое звание профессора по специальности «Ботаника» (Институт ботаники АН УССР (г. Киев)).

За исследования лесных экосистем Карпат и научные труды в области охраны природы ученый совет Зволенского технического университета в 1994 г. присудил профессору С.М. Стойко научную степень Doctor honoris causa. С 1966 г. по 1970 г. работал старшим научным сотрудником в Львовском отделении Института ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины, с 1970 г. по 1974 г. заведовал отделом охраны природных экосистем в Государственном природо-ведческом музее АН УССР, с 1974 г. по 2000 г. был заведующим отделом охраны природных экосистем в Институте экологии Карпат НАН Украины, позже – его главным научным сотрудником.

Научная деятельность профессора С.М. Стойко связана с регионами Карпат, Расточья и Западного Подолья. Основные научные направления – лесоведение, лесная экология, лесная типология, лесоводство, лесная геоботаника, биогеография, охрана природы и заповедное дело, история естественно-научных исследований, геосозология. В Карпатах, среди зонально распространенных буковых лесов, он обнаружил и исследовал реликтовые локалитеты ели, дуба скального, липы крупнолистной, тиса ягодного, можжевельника казацкого, которые сохранились с раннего и среднего голоцена и интересны для выяснения послеледниковой истории развития лесов. На основе фитоценохорологических и геоботанических методов исследовал высотную дифференциацию растительного покрова в Украинских Карпатах, выделил 10 вегетационных ступеней (высотных растительных поясов) и установил два варианта поясности на юго-западном и северо-восточном макросклонах. Выделенные вегетационные ступени имеют весомое значение для выяснения процесса развития лесных формаций в голоцене, а также для ренатурализации трансформированных древостоев и ведения лесного хозяйства по образцу природных лесных экосистем.

В процессе исследования дубовых лесов Карпатской горной системы ученый обнаружил в Закарпатье островные локалитеты новых для флоры Украины южно-европейских видов дуба (австрийского (*Quercus cerris* L.), Далешампа (*Q. dalechampii* Ten.), многоплодного (*Q. polycarpa* Schur.)) и изучил их ценотическую структуру. На основе экологических и лесотипологических исследований профессор С.М. Стойко обосновал направления восстановления дубовых лесов и экологические основы ведения приближенного к природе лесоводства. Результаты многолетних исследований подытожены в монографии «Дубовые леса Украинских Карпат: экологическая характеристика, восстановление, охрана» (2009).

На основе исследований истории развития естественных наук в Украине профессор С.М. Стойко совместно с академиком К.М. Ситником и кандидатом исторических наук О.М. Апанович опубликовал монографию «В.И. Вернадский. Жизнь и деятельность на Украине», которая вышла двумя изданиями (1984, 1988). Совместно с ботаником доцентом С.А. Постриганем, языковедом доктором филологических наук Л.М. Полюгою и другими авторами ученый опубликовал «Российско-украинский словарь терминов лесоводства» (1980), в котором дополнена существующая лесная терминология.

Базируясь на учении академика В.И. Вернадского по био- и ноосфере, а также осмысливая экологические последствия техногенного влияния на взаимосвязанные составляющие биосферы (гидросферу, атмосферу, педосферу, биотосферу и социосферу), Степан Михайлович обосновал концептуальные положения интегральной природоохранной науки – геосозологии.

В целях сохранения раритетного фитоценофона С.М. Стойко выступил инициатором издания «Зеленой книги Украины» (1987), в которой обосновал синфитосозологический индекс оценки раритетных фитоценозов и описал более 40 редчайших лесных синтаксонов. Изучая катастрофические экологические явления в Карпатах, ученый установил природные и антропогенные причины возникновения стихийных паводков и обосновал лесоводственные, организационные и природоохранные меры борьбы с ними.

На основании сравнительных экологических исследований коренных лесов установил десять критериев определения в природе пралесных, квазипралесных и натуральных фитоценозов. Показал многогранное логистическое, экомодельное для лесного хозяйства, экообразовательное и другое их значение.

Научный потенциал профессора С.М. Стойко – около 500 научных работ, из которых более 50 опубликовано в зарубежных изданиях.

Юбиляр успешно сочетает научную деятельность с педагогической в Украине и за ее пределами, поддерживает научные связи с зарубежными университетами и научно-исследовательскими учреждениями, читает лекции в Агрономическом университете (Вена), Техническом университете (Зволен), Сельскохозяйственной академии им. Г. Менделя (Брно), Ульмском и Кельнском университетах (Германия), Ботаническом институте Чешской академии наук (Прага), Университете им. Етвеша (Будапешт).

В 1993 г. его избрали действительным членом Лесной академии наук Украины. С 2006 г. является действительным членом Научного общества им. Тараса Шевченко. За значительный вклад в разработку основ заповедного дела в Украине, охрану раритетного фитогеонофона и фитоценофона профессор С.М. Стойко избран Почетным членом на IX съезде Украинского ботанического общества. Его труд отмечен многочисленными наградами различного уровня и почетными званиями.

С.М. Стойко был лично знаком с известными российскими учеными В.Н. Сукачевым, И.С. Мелеховым, А.Л. Бельгардом, Б.П. Колесниковым, Г.В. Крыловым и др.

Как ученик академика Петра Степановича Погребняка, он продолжает развивать его научные идеи в области лесоведения. Как заместитель председателя Совета по проблемам биосферы Западного научного центра АН УССР, принимал активное участие в обосновании мероприятий по охране природы в западном регионе Украины.

Профессор С.М. Стойко продолжает успешно трудиться на научной ниве, принимает активное участие в научных форумах.

Уважаемый Степан Михайлович! Благодаря Вашему таланту и упорству Вы сделали достойный вклад в развитие естественных наук. Ваши базовые труды в области лесной типологии, геоботаники, биогеографии, охраны природы, геосозологии повседневно используются на практике и входят в золотой фонд естественных наук в Украине и за рубежом. Ваше трудолюбие и душевная щедрость, мудрость и доброта, чуткость и отзывчивость являются примером для учеников. Примите искреннее пожелание карпатского здоровья, безграничного счастья, семейного благополучия. Пусть Вам всегда способствует творческое вдохновение, оптимизм и неугасаемая энергия.

*М.Д. Мерзленко<sup>1</sup>, И.В. Делеган<sup>2</sup>, П.Г. Мельник<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Институт лесоведения РАН,

<sup>2</sup>Национальный лесотехнический университет Украины,

<sup>3</sup>Московский государственный университет леса

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.158

**Professor Stepan Mykhailovich Stoyko – Milestones of Biography  
(to the 95th Anniversary of the Birth)**

*M.D. Merzlenko<sup>1</sup>, I.V. Delegan<sup>2</sup>, P.G. Mel'nik<sup>3</sup>*,

<sup>1</sup>Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences

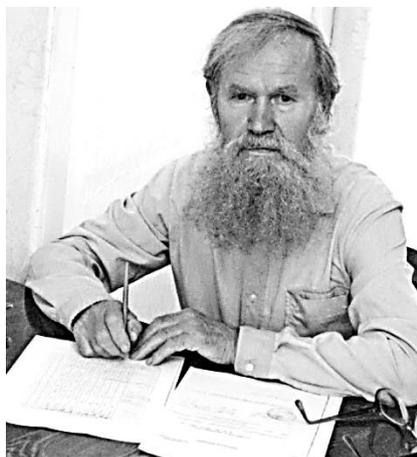
<sup>2</sup>Ukrainian National Forestry University

<sup>3</sup>Moscow State Forest University



DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.161

### ПАМЯТИ ГЕННАДИЯ ФЕДОРОВИЧА ПОТУТКИНА



28 марта 2016 г. на 81 году жизни скончался Геннадий Федорович Потуткин, кандидат технических наук, доцент, один из видных ученых в области химии и технологии древесноволокнистых и древесностружечных плит.

Г.Ф. Потуткин родился 3 июня 1935 г. в г. Мурманске. В 1958 г. окончил химико-технологический факультет Архангельского лесотехнического института (АЛТИ), после окончания которого работал мастером кислотного цеха Архангельского ЦБК, начальником строящегося завода древесноволокнистых плит.

Геннадий Федорович отдал 35 лет своей жизни работе в АЛТИ, пройдя все этапы становления преподавателя от ассистента, старшего преподавателя, доцента кафедры древесных пластиков и плит до заведующего кафедрой органической химии. Он сочетал преподавательскую деятельность с учебой в заочной аспирантуре по специальности «Технология пластических масс». В 1970 г. успешно защитил диссертацию на тему «Исследование взаимодействия некоторых компонентов древесины и карбамидных связующих при прессовании древесностружечных плит» в диссертационном совете Института химии древесины АН Латвийской ССР. В 1972 г. был утвержден ВАК СССР в ученом звании доцента по кафедре древесных пластиков и плит.

При непосредственном участии Геннадия Федоровича в институте была организована подготовка инженеров по новой специальности «Технология пластических масс», создана кафедра древесных пластиков и плит. В своей работе он уделял особое внимание обеспечению учебного процесса учебно-методической литературой, созданию и оснащению лабораторий новейшим оборудованием, организации производственных и преддипломных практик.

Преподавал дисциплины: органическая химия, переработка бумаги и картона, технология пластмасс, технология древесноволокнистых и древесностружечных плит, применение древесноволокнистых и древесностружечных плит, оборудование заводов пластмасс, применение полимерных материалов в деревообработке и мебельной промышленности.

Область научных интересов – исследование взаимодействия древесины и ее компонентов с карбамидной смолой и карбамидными клеями. Им опубликовано более 170 научных и учебно-методических работ. Г.Ф. Потуткин был активным автором, который опубликовал в Лесном журнале более 20 статей.

Более 10 лет он входил в состав НТО Бумдревпрома.

Труд Геннадия Федоровича был отмечен многочисленными благодарностями, грамотами. Награжден медалью «Ветеран труда».

*Ю.Г. Хабаров, д-р хим. наук, проф.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.2.161

**In Memory of Gennady Fedorovich Potutkin**

*Yu.G. Khabarov, Doctor of Chemical Sciences, Professor*

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

---