

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

6/336

2013

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

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**  
Заместители главного редактора:  
д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. Бабич**,  
д-р хим. наук, проф. **К.Г. Боголицын**  
Ответственный секретарь – засл. работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р биол. наук, проф. **В.П. Бессчетнов**; д-р техн. наук, проф. **П.В. Билей**; д-р техн. наук, проф. **А.В. Воронин**; д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**; д-р с.-х. наук, проф. **С.В. Залесов**; д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**; д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**; д-р биол. наук, проф. **И.Т. Кищенко**; д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Малыгин**; д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**; д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**; д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мяснищев**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**; д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Онегин**; д-р техн. наук, проф. **Е.А. Памфилов**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**; д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАСХН **М.В. Рубцов**; д-р техн. наук, проф. **В.Г. Санаев**; д-р биол. наук, проф. **А.В. Селиховкин**; д-р техн. наук, проф. **В.В. Сергеевичев**; д-р с.-х. наук, проф. **А.М. Тараканов**; д-р техн. наук, проф. **Б.Н. Уголев**; д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**; д-р с.-х. наук, проф. **В.Л. Черных**; д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**; проф. **Х.-Д. Энгельманн**

---

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 6/336

Подписной индекс 70368

Редактор Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой  
Перевод С.В. Бирюковой  
Графическое оформление В.А. Титовой

---

Сдан в набор 08.10.2013. Подписан в печать 11.10.2013. Заказ № 1873  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,000.  
Уч.-изд. л. 10,153. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18,  
e-mail: forest@agtu.ru, forest@narfu.ru, http://www.lesnoizhurnal.ru

---

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-45647 от 05.07.2011.

Издательский дом ФГАОУ ВПО САФУ  
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

---

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

BULLETIN  
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

---

# Lesnoi Zhurnal

**Scientific journal**

Established in 1833

Issued as part of the

“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958

Published 6 times a year

**6/336**

2013

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

Editor-in-Chief: Doctor of Engineering, Prof. **V.I. Melekhov**  
Deputy Editors-in-Chief:  
Doctor of Agriculture, Prof. **N.A. Babich**  
Doctor of Chemistry, Prof. **K.G. Bogolitsyn**  
Executive Secretary, Honoured Worker of Culture of the Russian Federation **R.V. Belyakova**

EDITORIAL BOARD:

Doctor of Biology, Prof. **V.P. Besschetnov**; Doctor of Engineering, Prof. **P.V. Biley**; Doctor of Engineering, Prof. **A.V. Voronin**; Doctor of Engineering, Prof. **E.D. Gelfand**; Doctor of Agriculture, Prof. **S.V. Zalesov**; Doctor of Engineering, Prof. **A.A. Kamusin**; Doctor of Biology, Prof. **I.T. Kishchenko**; Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences **N.I. Kozhukhov**; Doctor of Engineering, Prof. **V.S. Kurov**; Doctor of Engineering, Prof. **V.I. Malygin**; Doctor of Agriculture, Prof. **R.N. Matveeva**; Doctor of Agriculture, Prof. **M.D. Merzlenko**; Doctor of Engineering, Prof. **D.G. Myasishchev**; Doctor of Agriculture, Prof. **E.N. Nakvasina**; Doctor of Engineering, Prof. **A.N. Oblivin**; Doctor of Engineering, Prof. **V.I. Oegin**; Doctor of Engineering, Prof. **E.A. Pamfilov**; Doctor of Agriculture, Prof. **E.M. Romanov**; Doctor of Agriculture, Prof. Corresponding Member of the Russian Academy of Agricultural Sciences **M.V. Rubtsov**; Doctor of Engineering, Prof. **V.G. Sanaev**; Doctor of Biology, Prof. **A.V. Selikhovkin**; Doctor of Engineering, Prof. **V.V. Sergeevichev**; Doctor of Agriculture, Prof. **A.M. Tarakanov**; Doctor of Engineering, Prof. **B.N. Ugolev**; Doctor of Engineering, Prof. **F.Kh. Khakimova**; Doctor of Agriculture, Prof. **V.L. Chernykh**; Doctor of Engineering, Prof. **Yu.A. Shirnin**; Doctor of Engineering, Prof. **Hans-Dietrich Engelmann**

“Lesnoi Zhurnal” publishes scientific articles covering all areas of forestry, updates its readers on the use of completed research in production and on the best practice in forest industry and management. On its pages you can also find information about scientific activities at higher educational institutions, as well as advertisements and announcements. The journal is intended for scientists, PhD students, forestry engineers, university and college faculty, and students.

BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS  
“LESNOI ZHURNAL” no. 6/336

**Subscription index 70368**

Editor L.S. Okulova  
Make-up by O.V. Derevtsova, E.B. Krasnova  
Translator S.V. Biryukova  
Graphic design by V.A. Titova

---

Sent to the printer's 08.10.2013. Signed in print 11.10.2013. Order no. 1873  
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 14.000.  
Acad. publ. sh. 10.153. Circulation 1000 copies. Not sold by retail.  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

---

Contacts: 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk 163002, Russia,  
phone/fax +7 (8182) 28-76-18,  
e-mail: forest@agtu.ru, forest@narfu.ru, <http://www.lesnoizhurnal.ru>

---

Registration certificate ПИ № ФС77-45647 issued on 05.07.2011.  
NArFU Publishing House  
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education  
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”  
56 Uritskogo St., Arkhangelsk 163002

© IVUZ, “Lesnoi Zhurnal”, 2013



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- А.А. Фетисова, А.В. Грязькин, Н.В. Ковалев, М. Гуталь.* Оценка естественного возобновления хвойных пород на сплошных вырубках в условиях Рощинского лесничества..... 9
- Т.А. Сухарева.* Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения..... 19
- И.В. Петрова, С.Н. Санников, О.Е. Черепанова, Н.С. Санникова.* Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на Русской равнине..... 29
- В.А. Брынцев, М.И. Храмова.* Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции..... 38

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- А.Л. Попов.* Результаты исследования форм призм выпирания вертикально нагруженных лесосплавных грунтовых анкеров..... 50
- С.В. Самсонов, В.А. Барабанов.* Обоснование технических параметров плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов и результаты исследования их гидродинамических характеристик..... 57

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина.* Формирование низкотоксичных древесностружечных плит с использованием модифицированных клеев..... 67
- В.И. Малыгин, Л.В. Кремлева, Н.В. Лобанов, В.И. Мелехов.* Эволюция топологии сборных дереворежущих фрез..... 73
- С.В. Иванов, Е.С. Шарпов.* Резание древесины: обзор, анализ и формулировка понятия..... 86

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- К.Г. Боголицын, М.В. Сурсо, М.А. Гусакова, И.Н. Зубов.* Динамика сезонных и возрастных изменений параметра активности пероксидазы в хвое можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.)..... 91
- Е.В. Петренко, В.Н. Паршикова, Р.А. Степень.* Эффективность совместной переработки древесной зелени пихты и ели..... 100
- С.Н. Вихарев.* Осевые силы, возникающие при размоле в дисковой мельнице..... 107
- М.А. Зырянов, Н.Г. Чистова.* Производство древесноволокнистых плит при одноступенчатым размолем щепы..... 115
- О.С. Бровка, Я.В. Казаков, Т.А. Бойцова, И.А. Паламарчук, Д.А. Тормосина, К.Г. Боголицын.* Влияние состава композиции и молекулярных масс лигносульфонатов и хитозана на деформационно-прочностные свойства полимерных пленок на их основе..... 120

<i>А.А. Перепелкина, М.Ф. Галиханов, Л.Р. Мусина. Модификация бумаги в целях повышения ее эксплуатационных свойств.....</i>	129
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>О.П. Сушко, А.В. Пластинин, Н.А. Шиловская. К вопросу прогнозирования цен на мировом рынке на продукцию целлюлозно-бумажной промышленности</i>	135
<i>КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ</i>	
<i>В.А. Захаренко. О работе учебно-методического семинара-совещания «Эталонные и рабочие средства измерения в области теплофизики».....</i>	152
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>А.В. Мехренцев, С.И. Колесников, Н.Н. Костюков, С.В. Крайнов, Н.А. Шпак. Сергей Вениаминович Залесов.....</i>	154
<i>ПАМЯТИ УЧЕНЫХ</i>	
<i>Я.Ф. Молнар. Евгений Самуилович Романов (1929 – 2013 гг.).....</i>	156
<i>Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2013 г. ....</i>	157

---

---



CONTENTS

*FORESTRY*

<i>A.A. Fetisova, A.V. Gryazkin, N.V. Kovalev, M. Gutal.</i> Assessment of Natural Conifer Regeneration in the Clear Cutting Area of the Roshchino Forestry.....	9
<i>T.A. Sukhareva.</i> Spatio-Temporal Dynamics of Microelement Composition of Conifers and Soils Under Industrial Pollution.....	19
<i>I.V. Petrova, S.N. Sannikov, O.E. Cherepanova, N.S. Sannikova.</i> Genetic Differentiation of Upland and Bog Populations of Scots Pine on the Russian Plain.....	29
<i>V.A. Bryntsev, M.I. Khramova.</i> Variability of Seed Progeny of Siberian Pine at Introduction.....	38

*WOODEXPLOITATION*

<i>A.L. Popov.</i> Results of Research on Bulging Prisms of Vertically Loaded Floating Ground Anchors.....	50
<i>S.V. Samsonov, V.A. Barabanov.</i> Validation of Technical Parameters of Floating Containers for Timber Transportation and Results of the Study of their Hydrodynamic Properties.....	57

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE*

<i>A.N. Chubinsky, G.S.Varankina.</i> Formation of Low Toxicity Particle Boards Using Modified Adhesives.....	67
<i>V.I. Malygin, L.V. Kremleva, N.V. Lobanov, V.I. Melekhov.</i> Evolution of the Topological Structure of Wood-Milling Cutters.....	73
<i>S.V. Ivanov, E.S. Sharapov.</i> Wood Cutting: Overview, Analysis and Concept Formulation.....	86

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

<i>K.G. Bogolitsyn, M.V. Surso, M.A. Gusakova, I.N. Zubov.</i> Peroxidase Activity Within the Needles of Common Juniper ( <i>Juniperus communis</i> L.): Dynamics of Seasonal and Age-Related Changes.....	91
<i>E.V. Petrenko, V.N. Parshikova, R.A. Stepen'.</i> Efficiency of Co-Processing of Wood Green of Fir and Spruce.....	100
<i>S.N. Vikharev.</i> Axial force Generated in the Disk Mill at Grinding.....	107
<i>M.A. Zyryanov, N.G. Chistova.</i> Fiberboard Production at Single-Stage Grinding.....	115
<i>O.S. Brovko, Ya.V. Kazakov, T.A. Boytsova, I.A. Palamarchuk, D.A. Tormosina, K.G. Bogolitsyn.</i> Effect of the Composition and Molecular Weights of Ligno-sulfonates and Chitosan on the Physical and Mechanical Properties of Polymer Films on their Basis.....	120
<i>A.A. Perepelkina, M.F. Galikhanov, L.R. Musina.</i> Modification of Paper to Improve its Performance Properties.....	129

*ECONOMICS AND MANAGEMENT*

- O.P. Sushko, A.V. Plastinin, N.A. Shilovskaya.* To the Question of Price Forecasting for Pulp and Paper Products on the World Market..... 135

*CONFERENCES AND MEETINGS*

- V.A. Zakharenko.* About the Training and Methodological Seminar “The Reference and Ordinary Measuring Instruments in Thermal Physics”..... 152

*JUBILEES*

- A.V. Mekhrentsev, S.I. Kolesnikov, N.N. Kostyukov, S.V. Kraynov, N.A. Shpak.* Sergey Zalesov..... 154

*TO THE MEMORY OF SPECIALISTS*

- Ya.F. Molnar.* Evgeny Samuilovich Romanov..... 156  
Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2013..... 157
- 
-





## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*2

*А.А. Фетисова, А.В. Грязькин, Н.В. Ковалев, М. Гуталь*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Фетисова Анна Александровна окончила в 2011 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию имени С.М. Кирова, аспирант кафедры лесоводства, инженер кафедры лесных культур С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет 14 печатных работ в области естественного лесовозобновления, экологии сосны.  
E-mail: feti-anna@mail.ru.

Грязькин Анатолий Васильевич родился в 1951 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию имени С.М. Кирова, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет около 200 печатных работ в области естественного лесовозобновления и использования недревесных ресурсов леса.  
E-mail: lesovod@bk.ru

Ковалев Николай Владимирович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры лесоводства С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет более 30 печатных работы в области изучения закономерностей естественного возобновления лесов и рационального природопользования.  
E-mail: imfalsepresent@inbox.ru

Гуталь Марко родился в 1985 г., окончил в 2011 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию имени С.М. Кирова, аспирант кафедры лесоводства С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет 2 печатные работы в области естественного лесовозобновления.  
E-mail: gutalj@yahoo.com

### **ОЦЕНКА ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ХВОЙНЫХ ПОРОД НА СПЛОШНЫХ ВЫРУБКАХ В УСЛОВИЯХ РОЩИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА**

Вырубки составляют значительную часть фонда лесовосстановления. Известно, что основным методом восстановления леса на вырубках таежной зоны является естественное возобновление. По ряду причин эффективность мероприятий по искусственному лесовосстановлению остается низкой.

Цель данного исследования – оценка успешности естественного возобновления. Объектами исследования служили постоянные пробные площади на вырубках в лесном фонде Рощинского лесничества Ленинградской области.

---

© Фетисова А.А., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Гуталь М., 2013

Учет подростка проводили по методике, разработанной А.В. Грязькиным. По состоянию подрост делили на жизнеспособный, нежизнеспособный и сухой, по степени повреждения – поврежденный и неповрежденный.

Численность подростка сильно варьирует по объектам исследования, что связано с различными почвенно-грунтовыми условиями, давностью рубки, различиями в исходном составе древостоев.

По составу подрост неоднороден. На всех объектах, кроме двух, доминируют лиственные породы, в основном береза. Подрост лиственных и хвойных пород имеет равномерное распределение. Преобладает жизнеспособный подрост.

Наибольшее количество подростка сосны (60,9 %) имеет возраст 5...6 лет. Подрост сосны в возрасте 8 лет и выше встречается в незначительном количестве (1,4 %). Это позволяет сделать вывод о том, что подрост сосны появился на данной территории на следующий год после проведения рубки при формировании благоприятных условий для его роста. Подрост сосны предварительного возобновления практически отсутствует.

Подрост ели по возрастам распределяется относительно равномерно. В отличие от подростка сосны доля ели предварительного возобновления существенна (57,7 %). Возрастной ряд подростка ели на данной вырубке отслеживается до 27 лет.

В живом напочвенном покрове доминирует злаковая растительность, которая в конце вегетационного периода образует сплошной ковер, препятствующий нормальному росту и развитию мелкого подростка.

Таким образом, успешность естественного возобновления сосны и ели во многом зависит от суммарного проективного покрытия напочвенной растительности. Особенно сильно на подрост сосны влияет покров из злаков, которые быстро образуют дернину, мешающую прорастанию семян и росту всходов.

*Ключевые слова:* естественное возобновление, ель, сосна, сплошная рубка, вырубка, живой напочвенный покров.

Повышение эффективности лесовосстановления является одной из главных задач лесоводства, при разумном решении которой можно снизить экономические затраты и в конечном итоге получить древостой, качественно максимально соответствующий условиям произрастания леса. Трудность решения этого вопроса заключается в многообразии природных условий, что исключает шаблонный подход, а также в том, что лес представляет собой динамическую систему.

Вырубки составляют значительную часть фонда лесовосстановления. Из всего разнообразия рубок главного пользования по сей день в Российской Федерации преобладают сплошные рубки, составляющие более 70 % от общего объема заготавливаемой в стране древесины. Кроме того, ежегодно лесам наносят ущерб стихийные явления. Это приводит к увеличению территории фонда лесовосстановления, помимо запланированных к восстановлению площадей. В связи с этим важно иметь теоретическую основу, опирающуюся на длительные наблюдения, с помощью которой можно произвести в наиболее

короткие сроки эффективное восстановление леса и в дальнейшем получить древесину, отвечающую тем или иным потребностям.

В соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. сбалансированность темпов использования и воспроизводства лесных ресурсов должна достигаться путем максимального использования естественной восстановительной способности лесов и увеличения объемов мероприятий по содействию естественному возобновлению, а производство лесных культур следует осуществлять лишь на тех вырубках, где естественное возобновление не гарантирует требуемых сроков и качества создаваемых насаждений и планомерного облесения гарей.

Отмечается, что основным методом восстановления леса на вырубках таежной зоны является естественное возобновление [1]. В связи с рядом причин эффективность мероприятий по искусственному лесовосстановлению остается низкой [4].

Целью данного исследования была оценка успешности естественного возобновления после сплошных рубок в разных типах леса, а также прогноз последующего развития хвойного подроста.

Объектами данного исследования служили постоянные пробные площади Рошинского лесничества Ленинградской области, представляющие собой участки сплошных рубок и заложенные за год до рубки сотрудниками кафедры лесоводства СПбГЛТА в целях исследования влияния сплошной рубки на малые лесные водосборы и на процесс естественного восстановления древостоя. Характеристика опытных объектов до рубки представлена в табл. 1.

В целях изучения процессов естественного возобновления на опытных объектах были заложены постоянные учетные ленты по методике, разработанной А.В. Грязькиным [2]. Учетные ленты состояли из примыкающих друг к другу круговых площадок постоянного радиуса ( $R = 178,5$  см), центры которых закреплены на местности колышками. На круговых площадках учитывались следующие показатели: численность подроста, его состояние, равномерность размещения подроста по площади (встречаемость), категория крупности, высота и возраст хвойного подроста, а также встречаемость, проективное покрытие каждого вида и суммарное проективное покрытие видов, составляющих живой напочвенный покров. Для определения численности подроста применяли коэффициенты пересчета мелкого и среднего подроста в крупный. Для мелкого подроста применялся коэффициент 0,5, среднего – 0,8, крупного – 1,0. Категория крупности, густота подроста (в зависимости от его численности на единице площади) и его распределение по площади (в зависимости от его встречаемости) устанавливались в соответствии с общепринятыми классификациями [3]. Для достижения необходимой точности – 10 %, установленной [3], необходимо, чтобы суммарная площадь учетных круговых площадок составляла не менее 2 % от общей площади участка. Все учетные площадки закладывались по схеме с учетом предварительного расстояния между ними.

Таблица 1

Таксационные характеристики объектов наблюдения на момент проведения рубки

№ объекта	Квартал / выдел и год рубки	Площадь, га	Состав	Средние показатели			Класс бонитета	Тип леса	Относительная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Подрост, тыс. шт./га
				Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см					
1	72/12, 13 2007	3,0	8С2Е 7С1Е2Б	130 110	23 23	32 24	III	С.брус.	198	-	
2	182/9 2007	2,0	8Е1С1Е	100	21	24	III	Е. кис.	319	2 Е <sub>30</sub> , 1,5 м	
3	189/23 2007	3,3	9С1Е	110	21	28	III	С. чер.	215	-	
4	193/14 1999	3,0	9Е1С	90	24	28	I	Е. чер.	310	-	
5	193/14 1999	2,0	9Е1С	90	24	28	I	Е. чер.	310	-	
6	193/8 1999	6,4	9Е1С	90	24	24	II	Е. долг.	0	-	

Это позволило точно определить количество и характер распределения подроста по площади на основе изолиний, проведенных через центры круговых площадок.

По состоянию подрост делили на три категории: жизнеспособный, нежизнеспособный и поврежденный. Жизнеспособный подрост хвойных пород характеризовался следующими признаками: густая хвоя; зеленая или темно-зеленая окраска хвои; заметно выраженная мутовчатость; островершинная или конусообразная симметричная густая или средней густоты крона, протяженностью не менее 1/3 высоты ствола в группах и 1/2 высоты ствола – при одиночном размещении; прирост по высоте за последние 3...5 лет не утрачен; прирост вершинного побега не менее прироста боковых ветвей верхней половины кроны; прямые неповрежденные стволы; гладкая или мелкочешуйчатая кора без лишайников.

В результате полевых исследований 2011 г. получены следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2

**Возобновление на вырубках Рошинского лесничества**

№ объекта	Порода	Численность подроста, шт./га		В том числе хвойных пород, шт./га	
		Всего (без нежизнеспособных)	Приведенная к условно крупному	Всего (без нежизнеспособных)	Приведенная к условно крупному
1	Сосна	1925	1459,6	2664	1949,9
	Ель	739	490,6		
	Береза	5340	4178,0		
2	Сосна	409	204,5	1863	911,5
	Ель	1454	707,0		
	Береза	500	455,0		
	Осина	272	263,0		
3	Сосна	266	175,7	400	259,2
	Ель	134	83,5		
4	Сосна	48	48,0	810	619,4
	Ель	762	571,4		
	Береза	2630	2472,0		
	Осина	382	358,0		
5	Сосна	381	371,4	953	759,8
	Ель	572	424,4		
	Береза	1619	1581,0		
	Осина	2948	1486,0		
6	Сосна	5050	3745,0	9050	6355,0
	Ель	4000	2610,0		
	Береза	4250	3785,0		

Меньше всего подроста имеется на объекте 3 (С.чер.), что связано с сильным развитием злаковой растительности. Мало подроста и на объекте 2 (Е.кис.), где после рубки произошло заселение территории злаковой и другой разнотравной растительностью, которая не позволяет подросту успешно расти. Кроме того, на данном объекте подрост по категории крупности – мелкий, и он не может конкурировать с разросшейся травянистой растительностью.

На объекте 1 (С.брус.) лидирующее положение по численности заняла береза. Из-за быстрого роста и отсутствия конкуренции со стороны травянистого яруса на этом объекте береза оказывает угнетающее воздействие на подрост сосны. Подрост лиственных пород преобладает в черничном типе леса на объектах 4 и 5. Развитие злаковой растительности здесь присутствует, но в сравнительно меньшей степени, что позволяет подросту березы, а на объекте 5 и осины, составить конкуренцию травянистой растительности. Ход лесовосстановления на объекте 6 с типом леса ельник долгомошник происходит лучше, на что влияет отсутствие злаковой растительности и высокая сохранность подроста при проведении рубки.

По составу подрост неоднороден. На всех объектах, кроме 2 и 6, доминируют лиственные породы, в основном береза. Доминирование сосны на объекте 6 связано с тем, что данная порода менее всего требовательна к условиям местопроизрастания и в таких группах типов леса, как долгомошные, другие породы (ель, береза) не способны оказать ей должной конкуренции.

Подрост лиственных и хвойных пород на объектах наблюдения имеет равномерное распределение. Распределение по площади подроста отдельных пород неодинаково и различается по объектам наблюдения. Наиболее равномерное распределение подроста на объектах 6 и 1 с типами леса долгомошный и брусничный соответственно. На остальных объектах неравномерное и групповое размещение является причиной сильного развития злаковой растительности.

На всех объектах преобладает жизнеспособный по состоянию подрост (рис. 1).

Рис. 1. Структура подроста по состоянию: 1 – жизнеспособный, 2 – поврежденный, 3 – нежизнеспособный

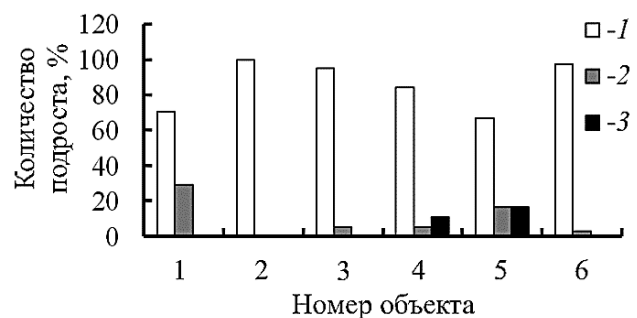
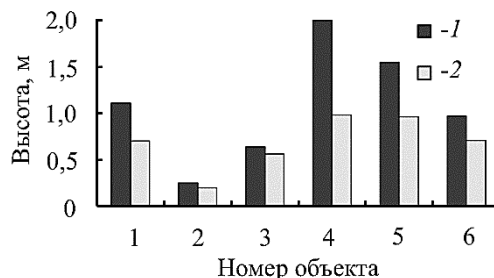


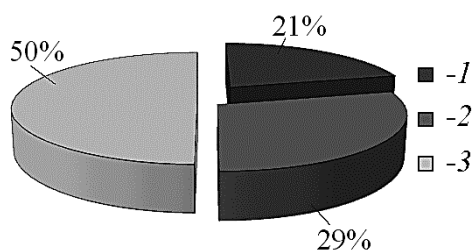
Рис. 2. Структура подроста по высоте: 1 – сосна, 2 – ель



При анализе высотной структуры видно (рис. 2), что на объектах 1, 3, 6 преобладает подрост ели и сосны средней крупности, на объекте 2 – исключительно мелкий, на объектах 4, 5 – подрост сосны крупный, а ели средний. Следует отметить, что на всех объектах подрост сосны выше подрост ели.

В среднем по всем объектам наблюдения доля мелкого подрост значительна у хвойных (рис. 3). Обратная картина наблюдается у подрост лиственных пород – преобладает крупный подрост.

Рис. 3. Распределение подрост сосны и ели по категориям крупности в среднем на всех объектах наблюдения: 1 – крупный, 2 – средний, 3 – мелкий



Анализ структуры хвойного подрост по возрасту (рис. 4) показал, что его средний возраст на объектах наблюдения различается незначительно.

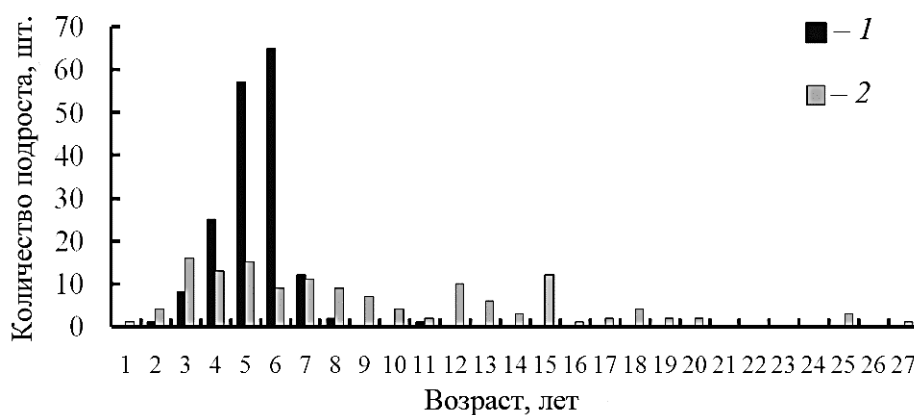


Рис. 4. Структура подрост по возрасту: 1 – сосна, 2 – ель

Наибольшее количество подроста сосны (60,9 %) отмечено в возрасте 5...6 лет, т. е. 2001 г. был годом обильного урожая семян сосны на данных объектах. Подрост сосны в возрасте 8 лет и выше встречается в незначительном количестве (1,4 %). В связи с этим можно сделать вывод о том, что подрост сосны появился на данной территории на следующий год после проведения рубки при формировании благоприятных условий для его роста. Подрост сосны предварительного возобновления практически отсутствует. Подрост ели по возрастам распределяется относительно равномерно. В отличие от подроста сосны доля ели предварительного возобновления существенна (57,7 %). Возрастной ряд подроста ели на данной вырубке отслеживается до 27 лет.

В живом напочвенном покрове (ЖНП) на объектах 1–5 доминирует злаковая растительность (табл. 3), которая в конце вегетационного периода образует сплошной ковер из лежащих растений.

Таблица 3

**Характеристика встречаемости основных видов ЖНП**

№ объекта	Основные виды ЖНП	Среднее проективное покрытие по видам	Встречаемость по видам
		%	
1	Луговик	54	70
2	Иван-чай, малина, луговик,	36, 36, 42	95, 77, 77
3	Вейник	90	100
4	Малина, луговик	26, 38	86, 81
5	Малина, луговик	19, 37	87, 80
6	Сфагнум, пушица, водяника	92, 22, 38	100, 80, 70

На объекте 2 большое влияние оказывает иван-чай, на 4 и 5 – малина.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. После проведения сплошных рубок в сосняках черничных образуется вейниковый тип вырубки (объект 3), в сосняках брусничных и ельников черничных – луговиковый (объекты 1, 4, 5), в ельнике кисличном – разнотравный (объект 2).

2. На всех опытных участках отмечается появление подроста хозяйственно ценных пород. Это связано, в первую очередь, со сравнительно небольшими размерами рубок, оставлением семенных деревьев и присутствием в окружающих стенах леса деревьев сосны и ели в возрасте семеношения.

3. Успешность естественного возобновления сосны и ели зависит от суммарного проективного покрытия напочвенной растительности. Особенно отрицательно на подрост сосны влияет покров из злаков. Они быстро образуют дернину, мешающую прорастанию семян и росту всходов.

4. Возобновление на всех объектах, кроме объекта 3 с типом леса сосняк черничный, можно считать удовлетворительным, несмотря на то, что возобновление происходит с участием мягколиственных пород, хотя процесс естественного возобновления еще не завершился.



5. В практических целях во всех типах леса можно рекомендовать: оставление семенных деревьев при отводе делянки и рубке; сохранение подроста при рубке; частичную обработку почвы (с учетом почвенно-грунтовых условий); оправку подроста от опада ЖНП; уход за подростом (удаление мягколиственных пород, изреживание куртин подроста). В сосняках черничных при отсутствии предварительного возобновления, недостаточного количества обсеменителей и минерализации поверхности почвы дальнейшее возобновление сосны затруднено и требуется посев семян (объект 3).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (На примере ельников Северо-Запада России). СПбГЛТА, 2001. 188 с.
2. Грязькин А.В. Пат. 2084129 РФ, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета подроста. № 94022328/13; Заяв. 10.06.94; Оpub. 20.07.97, Бюл. № 20.
3. Правила лесовосстановления. Утверждены Приказом МПР России № 183 от 16.07.2007.
4. Соколов А.И. Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.

Поступила 08.02.12

*A.A. Fetisova, A.V. Gryazkin, N.V. Kovalev, M. Gutal*

St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

#### **Assessment of Natural Conifer Regeneration in the Clear Cutting Area of the Roshchino Forestry**

Cutovers are a large part of reforestation fund. It is known that the main method of forest regeneration in cutting areas of the taiga zone is natural regeneration. For a number of reasons artificial regeneration remains inefficient.

This study aims to evaluate the effectiveness of natural regeneration. Permanent sample plots of the forest fund in the Roshchino Forestry (Leningrad Region, Russia) were taken as objects of this study.

Stock of undergrowth was taken according to the method developed by A.V. Gryazkin. By its condition, the undergrowth was divided into viable, nonviable, and dead standing trees, and by degree of damage into damaged and undamaged.

The number of undergrowth varies greatly depending on the object of research due to different soil conditions and period when the cutting was done, as well as differences in the initial composition of the stands.

In terms of composition, the undergrowth is heterogeneous. All the sites, except for two, are dominated by birch. Undergrowth of deciduous and coniferous species is evenly distributed at the sites under study.

All the sites are dominated by viable undergrowth with varying age structure. The greatest number of young pine undergrowth – 60.9 % – are 5 to 6 years old. Pine undergrowth aged eight years old and above is found in small amounts (1.4 %). In this regard, we can

conclude that pine undergrowth appeared in this area a year after the cutting, when favorable conditions for its growth started to form. Advance regeneration pine undergrowth is virtually nonexistent.

By age, spruce undergrowth is distributed rather evenly. In contrast to pine undergrowth, the percentage of advance regeneration spruce is significant (57.7 %). The age series of spruce in this cutting area can be tracked up to 27 years.

The ground cover is dominated by cereal plants, which at the end of the growing season form a continuous mat preventing the normal growth and development of small saplings.

The main conclusion: the success of natural regeneration of pine and spruce largely depends on the total projective cover of ground vegetation. A strong effect on pine undergrowth is produced by the cover of cereal plants as they quickly form sod which prevents seed germination and seedling growth.

*Keywords:* natural regeneration, spruce, pine, clear cutting, clear cutting area, ground cover.

---

---

УДК 630\*581.192:630\*425:631.811

**Т.А. Сухарева**

Институт проблем промышленной экологии Севера КарНЦ РАН

Сухарева Татьяна Алексеевна окончила в 2000 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. Имеет около 50 печатных работ в области лесной экологии и биогеохимии.

E-mail: sukhareva@inep.kcs.ru

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ И ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ\***

Рассмотрен микроэлементный состав листьев хвойных деревьев и почвы североазиатских лесов после снижения выбросов самого мощного в Северной Европе источника атмосферного загрязнения – медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Долговременное аэротехногенное воздействие привело к изменению минерального состава растений и почвы в радиусе 100 км от источника выбросов. В дефолирующих лесах и техногенных редколесьях обнаружено возрастание концентрации Ni, Cu, Fe и снижение Mn, Zn в хвое и органическом горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов, являющемся основным источником питания для растений. На основе данных мониторинга двух периодов наблюдений (1992 и 2007 гг.) выявлено снижение концентрации тяжелых металлов (Cu, Ni, Fe) в хвое ели сибирской и сосны обыкновенной в условиях различного уровня воздушного загрязнения. Наиболее очевидные изменения химического состава наблюдаются в сосновых и еловых редколесьях, где наиболее высоки уровни техногенной нагрузки на растительные сообщества. На фоне снижения концентрации основных поллютантов оптимизации минерального питания доминирующих растений бореальных лесов не отмечено. Негативные изменения в микроэлементном составе, произошедшие за многолетний период, связаны с обеднением хвои Mn и Zn, особенно ярко проявляющееся у ели. В почве сохраняются высокие концентрации загрязняющих веществ, препятствующие оптимизации питательного режима лесных биогеоценозов. Почва елового редколесья обедняется Mn и Zn, что является одной из причин снижения их содержания в хвое ели. В качестве информативных биоиндикаторов атмосферного загрязнения лесных экосистем целесообразно использовать хвойные деревья, ассимилирующие органы которых весьма чутко реагируют на изменения условий произрастания.

*Ключевые слова:* хвоя, почва, микроэлементы, загрязнение, медно-никелевое производство.

---

\* Работа выполнена при поддержке программы РАН «Биологическое разнообразие».

© Сухарева Т.А., 2013

### *Введение*

Изучению влияния металлургических предприятий на состояние лесных биогеоценозов посвящено большое количество работ, но они касаются, главным образом, пространственного изменения различных показателей. При длительном воздействии техногенных факторов особую актуальность приобретает изучение многолетней динамики растительных сообществ. Важным направлением мониторинга лесных биогеоценозов, подвергающихся действию промышленных поллютантов, является оценка минерального питания эдификаторных видов.

Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на северном пределе распространения (Кольский п-ов) являются основными лесообразователями северотаежных лесов. Известно, что хвойные деревья более чувствительны к воздушному загрязнению, чем лиственные, поскольку последние ежегодно обновляют листву, таким образом избавляясь от токсичных соединений [1, 6]. Хвойные испытывают сильное угнетение и погибают вследствие сокращения продолжительности жизни хвои под воздействием накапливающихся в течение нескольких лет токсикантов [18].

Металлургический комбинат «Североникель» функционирует с 1938 г. и является основным источником атмосферного загрязнения региона тяжелыми металлами и диоксидом серы. С 1991 г. началось снижение объемов выбросов, и за два десятилетия количество поступающих в атмосферу загрязняющих веществ значительно сократилось. Оценка состояния лесных фитоценозов на основе параметров минерального питания позволяет проследить ответную реакцию компонентов лесных биогеоценозов на снижение антропогенной нагрузки. Цель работы – анализ пространственно-временной динамики микроэлементного состава хвои и органогенного горизонта почвы северотаежных лесов Мурманской области в условиях воздушного загрязнения при меняющемся уровне выбросов и значительном сокращении поступления загрязняющих веществ в атмосферу в период исследования.

### *Материалы и методы исследований*

Исследования проводили на стационарных пробных площадях, представляющих основные стадии дигрессионной сукцессии еловых и сосновых лесов Кольского полуострова в окрестностях медно-никелевого комбината «Североникель». Фоновые объекты представлены ельником кустарничково-зеленомошным и сосняком кустарничково-лишайниковым. Леса, подверженные воздушному загрязнению, представлены дефолирующими лесами и техногенными редколесьями. Детальное описание площадок приведено в ранее опубликованной работе [8]. По градиенту промышленного загрязнения обследованы 9 постоянных пробных площадок в еловых (7, 28, 31, 100, 260 км от комбината) и сосновых (8, 31, 48 и 270 км от комбината) лесах. Материалы для данного исследования (хвоя и почва) собраны в августе 1992 и 2007 гг. За исследуемый период ежегодные выбросы никеля снизились от 2,118 до

0,546, меди – от 1,457 до 0,622, диоксида серы – от 189,900 до 35,900 тыс. т [2]. Почвенные и растительные образцы отбирали в 5–10-кратной повторности: хвою ели и сосны – из верхней трети кроны, почвенные образцы – в межкрупных пространствах. Изучены доступные для растений соединения элементов в органогенном горизонте Al-Fe-подзолистых почв. Почвенные образцы экстрагировали 1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  (рН 4,65). Использовали соотношение почвы и вытеснителя 1:25. Растительные образцы подвергали мокрому озолению концентрированной  $\text{HNO}_3$ . Содержание металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) в хвое и почве определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе ААС-360. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакетов программ Microsoft Excel 6.0.

#### *Результаты и обсуждение*

*Хвойные деревья.* Микроэлементы, хотя и потребляются растениями в небольших количествах, играют важную роль в функционировании организма. В.Б. Ильин [4] указывает на участие этих элементов в различных окислительно-восстановительных реакциях. Как микро-, так и макроэлементы необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, но при избыточном поступлении они становятся опасными загрязнителями, оказывающими токсический эффект. Долговременная антропогенная нагрузка на лесные биогеоценозы в зоне влияния комбината «Североникель» привела к изменению природных условий минерального питания растений и, следовательно, их химического состава. Результаты исследований содержания микроэлементов в одностебельной хвое ели и сосны представлены в табл. 1.

Динамика содержания изучаемых металлов в ассимилирующих органах сосны и ели в процессе техногенной дигрессии лесов характеризуется сходными закономерностями. Концентрация Ni, Cu, Fe в хвое возрастает по мере приближения к источнику загрязнения. Максимальное содержание перечисленных элементов, превышающее фоновые значения в 60–200 раз отмечено в хвое ели и сосны техногенных редколесий. Превышение фоновых концентраций никеля в 5–6 раз регистрируется в ельнике кустарничково-зеленомошном, расположенном на расстоянии 100 км от комбината. Выбросы в атмосферу полиметаллической пыли плавильных цехов металлургических комбинатов являются главным источником повышенных концентраций Ni, Cu и Fe в хвое. Аккумуляция тяжелых металлов в ассимилирующих органах обусловлена как корневым поглощением из почвы, так и осаждением на поверхность растений из атмосферы. Концентрация Mn и Zn в хвое постепенно снижается в процессе дигрессионной сукцессии. Минимальное количество данных элементов отмечено в фотосинтезирующих органах техногенных редколесий. Хвоя ели наиболее заметно обеднена Mn и Zn, концентрации которых ниже фоновых значений в 2–6 и 10–70 раз соответственно. В техногенном редколесье уровень содержания Mn и Zn в хвое ели диагностируется как дефицитный ( $\text{Zn} < 13 \text{ мг/кг}$  [19];  $\text{Mn} < 200 \text{ мг/кг}$  [21]). В условиях воздушного

Таблица 1

Динамика содержания микроэлементов (мг/кг) в однолетней хвое ели сибирской и сосны обыкновенной в фитоценозах различного уровня атмосферного загрязнения

Год отбора	Ель сибирская										Сосна обыкновенная							
	Ф					Д					Р				Д			
	Тип состояния фитоценоза и расстояние от источника загрязнения, км					Р					Ф				Д			
	260		100		31		28		7		270		48		31		8	
1992	2, 2±0, 4	12, 8±4, 6	30, 4±4, 5	35, 1±2, 0	246, 3±31, 5	2, 2±0, 4	13, 0±0, 9	55, 1±3, 3	160, 3±10, 2									
2007	1, 9±0, 1	9, 3±0, 5	25, 4±2, 0	33, 4±2, 4	107, 9±4, 6	2, 4±0, 3	7, 7±1, 7	30, 3±1, 0	145, 3±15, 3									
1992	2, 1±0, 1	2, 2±0, 2	12, 5±1, 4	18, 5±0, 8	154, 4±15, 1	2, 7±0, 4	12, 9±0, 7	31, 9±2, 9	97, 5±6, 8									
2007	1, 8±0, 4	2, 1±0, 3	4, 1±0, 6	6, 4±0, 6	19, 8±1, 1	2, 1±0, 5	7, 8±1, 1	13, 9±0, 7	47, 2±5, 7									
1992	32, 1±3, 7	38, 7±4, 5	120, 1±7, 8	44, 9±3, 7	143, 3±13, 7	47, 1±1, 7	62, 8±3, 6	99, 1±6, 6	133, 9±8, 6									
2007	33, 0±1, 7	46, 4±0, 7	32, 8±3, 1	40, 0±2, 4	55, 5±3, 0	46, 2±1, 8	65, 0±7, 5	39, 3±5, 9	91, 2±7, 6									
1992	48, 6±9, 0	49, 8±4, 3	44, 1±4, 3	37, 4±3, 5	22, 1±1, 2	41, 8±3, 0	37, 2±3, 4	25, 7±1, 1	20, 7±3, 0									
2007	58, 8±6, 0	52, 8±2, 2	41, 6±7, 2	28, 4±8, 7	10, 4±0, 8	41, 9±6, 0	33, 1±5, 7	25, 3±3, 7	18, 9±1, 4									
1992	1078, 0±207, 0	970, 0±90, 0	1159, 0±80, 0	903, 0±101, 0	76, 0±14, 0	728, 0±183, 0	728, 0±49, 0	693, 0±94, 0	550, 0±54, 0									
2007	1870, 0±226, 0	1323, 0±173, 0	790, 0±110, 0	1031, 0±148, 0	26, 0±9, 0	820, 0±188, 0	624, 0±44, 0	860, 0±134, 0	422, 0±69, 0									

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, Ф – фон, Д – дефолирующие леса, Р – техногенные редколесья.

промышленного загрязнения почвы могут обедняться Mn и Zn в результате реакций замещения в почвенном поглощающем комплексе катионов данных элементов протонами и катионами тяжелых металлов, входящих в состав выбросов [9, 20]. Другой причиной обеднения хвои Mn и Zn является выщелачивание катионов металлов из листьев кислыми осадками.

Аэротехногенное загрязнение оказывает негативное влияние не только на параметры минерального питания, но и на морфологические показатели фотосинтезирующего аппарата растений. На загрязненных территориях сокращается продолжительность жизни хвои, уменьшается длина и масса ассимилирующих органов и побегов, значительно повышается степень поврежденности хвои [8, 9–16]. Наиболее показательным критерием оценки жизненного состояния хвойных деревьев является продолжительность жизни их ассимилирующих органов. Информативность данного критерия определяется большой продолжительностью функционирования хвои сосны и ели на севере [16]. На наших объектах также выявлено снижение продолжительности жизни хвои. Так, в фоновых условиях Кольского п-ва хвоя сосны на деревьях сохраняется 5...6, редко 7 лет, ели – 8...11, иногда 12...13 лет. В дефолирующих лесах продолжительность жизни хвои сосны сокращается до 4...5 лет, ели – до 7...8 лет, за исключением стадии начальной дефолиации (100 км от комбината), на которой данный показатель достигает значений, свойственных ассимилирующим органам в фоновых условиях. В техногенном редколесье хвоя сосны сохраняется 3...4 года, ели – 4...6 лет.

Снижение объемов выбросов загрязняющих веществ за 1992–2007 гг. обусловило уменьшение содержания основных элементов-загрязнителей в фотосинтезирующем аппарате хвойных деревьев. В дефолирующих лесах снизилась концентрация Cu в хвое, а Ni изменилась незначительно и в некоторых случаях осталась сопоставимой к уровню 1992 г. В техногенных редколесьях также произошло снижение содержания тяжелых металлов: в хвое ели концентрация Cu сократилась в 50 раз, Ni – в 16 раз, в хвое сосны – соответственно в 2,4 и 1,7 раза. Корреляционный анализ выявил положительную связь между снижением уровня тяжелых металлов и уменьшением Ni и Cu в хвое. Наиболее высокие значения коэффициентов корреляции выявлены в хвое ели ( $Ni - r = 0,894$ ;  $Cu - r = 0,887$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 14$ ) и сосны ( $Cu - r = 0,691$ ;  $p < 0,01$ ;  $n = 20$ ) техногенных редколесий. За период исследования 1992–2007 гг. в дефолирующих лесах (31 км от комбината) и техногенных редколесьях обнаружено снижение содержания Fe в хвое ели и сосны в 2–4 раза, что также обусловлено сокращением выбросов комбинатом «Североникель», так как данный элемент входит в их состав. Следует отметить и негативные изменения в микроэлементном составе, произошедшие за многолетний период наблюдений и связанные с обеднением хвои Mn и Zn. Особенно ярко это проявилось у ели. Выявлено двукратное снижение Zn в еловой хвое техногенных редколесий, что стало соответствовать дефицитному уровню. Еще более значительно (в 3 раза) в хвое ели снизилась концентрация Mn.

*Почвы.* Доступность химических элементов в почве является одним из важных факторов минерального питания растений. Поэтому для оценки поступления металлов из почвы в растения большое значение приобретают не столько валовые, сколько их доступные формы. В органогенном горизонте фоновых ельников кустарничково-зеленомошных концентрация Mn варьирует от 16 до 547, Zn – от 14 до 43, Fe – от 5 до 30, сосняков кустарничково-лишайниковых: Mn – от 25 до 69, Zn – от 7 до 33; Fe – от 2 до 17 мг/кг. Фоновое содержание Ni и Cu в органогенных горизонтах почвы изменяется в достаточно узких пределах: 0,3...1,4 и 0,1...0,6 мг/кг соответственно. В процессе техногенной дигрессии лесов микроэлементный состав органогенных горизонтов почвы, являющихся основными источниками минерального питания растений, трансформируется.

Под воздействием атмосферного загрязнения концентрация Ni, Cu и Fe многократно возрастает по сравнению с фоном (табл. 2). Превышение региональных фоновых значений регистрируется в радиусе 100 км от комбината. На всех изучаемых объектах установленные в настоящее время ориентировочно-допустимые количества (ОДК) подвижных форм тяжелых металлов в почве (Ni – 4, Cu – 3 мг/кг), экстрагируемых ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8), превышены [7]. В техногенных редколесьях органогенный горизонт почвы обедняется Mn и Zn, что обусловлено их замещением в почвенном поглощающем комплексе ионами водорода и алюминия и выносом из органогенного горизонта в результате интенсификации потока кислотообразующих веществ из атмосферы [10].

Сравнительная оценка микроэлементного состава, выполненная на основе данных двух периодов исследований, выявила, что, несмотря на снижение объемов выбросов, в почве сохраняются высокие концентрации элементов-загрязнителей. В большинстве случаев их содержание остается либо сопоставимым с уровнем 1992 г., либо даже возрастает. И только в почве еловых дефолирующих лесов и редколесий, содержание Ni достоверно снижается. Одновременно в техногенном еловом редколесье существенно возрастает содержание Cu. Известно, что миграция Cu по профилю кислых лесных почв происходит в основном совместно с водорастворимыми органическими веществами. Поэтому при определенных кислотных нагрузках может наблюдаться не увеличение, а уменьшение подвижности и накопление Cu в верхней части профиля [5]. В сосновом редколесье отмечено возрастание Ni, тогда как концентрация Cu в почве сопоставима в 1992 и 2007 гг. Следует отметить значительное снижение содержания Zn и Mn в еловом редколесье, за исследуемый период этот показатель снизился в 1,9 и 6,5 раза соответственно. Обеднение органогенного горизонта почвы Mn и Zn является одной из причин снижения их содержания в хвое ели.

В рамках данного исследования хотелось бы остановиться на проблеме, которая широко обсуждается в научной среде: каков приоритетный фактор, определяющий состояние и функционирование растений – атмосферное или



Таблица 2

## Динамика содержания доступных микроэлементов (мг/кг) в органическом горизонте почвы на разных стадиях техногенной депрессии северотаежных лесов

Год отбора	Еловые леса						Сосновые леса								
	Ф			Д			Р			Д			Р		
	260	100	31	28	28	7	270	48	31	8					
	Тип состояния фитоценоза и расстояние от источника загрязнения, км														
	Ni														
1992	1, 3±0, 2	7, 0±1, 2	35, 0±3, 1	113, 4±16, 4	606, 1±71, 3	0, 3±0, 0	11, 1±2, 0	48, 7±4, 1	194, 4±55, 5						
2007	0, 9±0, 1	6, 5±0, 7	56, 7±3, 5	71, 5±5, 7	294, 4±46, 5	0, 5±0, 1	19, 3±0, 3	41, 7±4, 6	395, 9±69, 7						
	Cu														
1992	0, 4±0, 1	1, 3±0, 4	11, 0±4, 1	56, 8±13, 2	202, 7±69, 1	0, 3±0, 0	1, 9±0, 6	14, 9±5, 0	318, 6±59, 4						
2007	0, 4±0, 1	1, 5±0, 1	20, 1±5, 3	37, 2±10, 2	532, 3±100, 8	0, 1±0, 0	11, 7±1, 8	14, 2±4, 8	393, 4±75, 9						
	Fe														
1992	7, 3±1, 4	9, 4±4, 4	19, 3±7, 6	10, 2±1, 3	19, 5±6, 8	5, 6±3, 4	12, 6±1, 5	18, 0±7, 3	343, 7±73, 0						
2007	16, 0±5, 0	26, 3±9, 1	15, 7±2, 7	24, 1±3, 1	313, 0±77, 2	8, 6±1, 7	27, 3±6, 4	11, 8±1, 7	158, 0±53, 8						
	Zn														
1992	16, 8±4, 3	27, 9±3, 8	38, 7±4, 3	34, 1±1, 0	22, 9±3, 2	11, 0±4, 2	18, 9±3, 5	21, 4±4, 3	6, 4±1, 9						
2007	25, 0±5, 0	15, 1±2, 5	31, 6±2, 0	29, 6±3, 6	12, 5±2, 7	18, 0±1, 0	19, 8±2, 7	19, 7±3, 6	12, 9±2, 1						
	Mn														
1992	294, 2±51, 8	323, 4±72, 3	122, 9±15, 5	500, 0±48, 7	111, 1±22, 9	45, 8±11, 7	39, 0±7, 0	22, 9±9, 2	22, 0±8, 0						
2007	207, 0±47, 4	135, 9±37, 3	192, 2±37, 9	198, 6±31, 4	17, 1±6, 5	42, 0±14, 0	43, 4±3, 1	20, 0±5, 0	22, 0±7, 0						

корневое поступление тяжелых металлов? Традиционное представление связано с преимущественным поступлением элементов через корневую систему. Однако существует мнение, что в принципе возможно осаждение пылевых металлосодержащих частиц на листовую пластинку с последующей ионизацией металла под воздействием листовых выделений или атмосферной влаги и поглощением ионов через устьица [3]. Результаты проведенных лабораторных экспериментов по изучению путей поступления металлов в растения также демонстрируют преобладающую роль сорбционного поглощения металлов листовой поверхностью [17]. Исследования корневого и фоллиарного поглощения Cu сеянцами березы показали, что 90 % общего содержания Cu в листьях обусловлено поглощением через устьица [22]. В полевом эксперименте по выращиванию всходов *Pinus sylvestris* L. на загрязненной тяжелыми металлами почве в условиях чистой и загрязненной атмосферы было показано, что в надземную часть всходов лишь 8...18 % от абс. содержания Ni и Cu поступает за счет корневого поглощения из почвы, а 82...92 % – из воздуха [9]. Рассмотренная нами многолетняя динамика содержания тяжелых металлов также указывает на огромное значение фоллиарного поглощения загрязнителей, особенно вблизи локальных источников загрязнения. В растениях выявлено достоверное снижение уровня накопления поллютантов на фоне сокращения объема выбросов загрязняющих веществ. Корреляционный анализ также подтверждает наличие значимой связи между содержанием Ni и Cu в хвое и объемами их выбросов за период наблюдений. Одновременно в органогенном горизонте почвы сохраняется высокое содержание загрязняющих веществ (Ni, Cu, Fe).

#### Заключение

Долговременное аэротехногенное воздействие комбината «Североникель» привело к изменению минерального состава растений и почвы в радиусе 100 км от источника выбросов. В дефолирующих лесах и техногенных редколесьях обнаружено возрастание концентрации Ni, Cu, Fe и снижение Mn, Zn в хвое и органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов, являющимся основным источником питания для растений. На основе данных мониторинга (1992 и 2007 гг.) питательного режима бореальных лесов Мурманской области в условиях атмосферного загрязнения обнаружено снижение концентрации основных элементов-загрязнителей (Ni, Cu, Fe) в хвое, особенно в техногенных редколесьях. Но ассимилирующие органы хвойных деревьев продолжают обедняться необходимыми элементами питания, в том числе микроэлементами (Mn, Zn). Снижение количества выбросов загрязняющих веществ в течение последних двух десятилетий не вызвало существенных положительных изменений в микроэлементном составе органогенного горизонта почвы. В почве сохраняются высокие концентрации загрязняющих веществ и продолжают процессы их накопления, препятствующие оптимизации питательного режима лесных биогеоценозов. В качестве информативных биоин-

дикаторов атмосферного загрязнения лесных экосистем целесообразно использовать хвойные деревья, ассимилирующие органы которых весьма чутко реагируют на изменения условий произрастания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дончева А.В.* Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 96 с.
2. Ежегодник Кольской ГМК. 2007. № 5. 87 с.
3. *Елпатьевский И.В., Аржанова В.С., Власов А.В.* Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л., 1985. С. 97–100.
4. *Ильин В.Б.* Элементный химический состав растений. М.: Наука, 1985. 129 с.
5. Кислотные осадки и лесные почвы / Под ред. В.В. Никонова и Г.Н. Копчик. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1999. 320 с.
6. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / Под ред. В.А. Алексева. Л.: Наука, 1990. 200 с.
7. *Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К.* Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М., 1998. 287 с.
8. *Лукина Н.В., Никонов В.В.* Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1998. 316 с.
9. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах / Отв. ред. А.С. Исаев. М.: Наука, 2005. 245 с.
10. *Лянгузова И.В.* Тяжелые металлы в системе почва–растение: подвижность, поступление и распределение // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб.: ООО ВВМ, 2005. С. 175–189.
11. *Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Игнатьева О.В.* Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения / Отв. ред. А.С. Плешанов. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. 134 с.
12. Морфофизиологическая реакция деревьев сосны обыкновенной на промышленное загрязнение / Т.А. Сазонова [и др.] // Лесоведение. 2005. № 3. С. 11–19.
13. *Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С.* Состояние древесных растений еловых фитоценозов в зоне аэротехногенного действия целлюлозно-бумажного производства // Лесн. журн. 2010. № 2. С. 47–56. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. *Сухарева Т.А., Лукина Н.В.* Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградиционной сукцессии лесов // Лесоведение. 2004. № 2. С. 36–43.
15. *Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н.* Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния / Под ред. В.Ф. Цветкова. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 333 с.
16. *Цветков В.Ф.* Состояние лесов, подверженных влиянию воздушных выбросов Мурманской области и проблемы их сохранения / Экологические исследования в лесах Европейского Севера. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1991. С. 125–136.
17. *Черненко Т.В.* Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. 2004. № 2. С. 25–35.

18. *Ярмишко В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 1997. 210 с.

19. *Huettl R.F.* Mg deficiency – a “new” phenomenon in declining forests – symptoms and effects, causes, recuperation // *Forest Decline in the Atlantic and Pacific Region* / Huettl and Mueller. Dombois (Eds.). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1993. P. 97–114.

20. A gradient study of 34 elements in the vicinity of a copper-nickel smelter in the Kola Peninsula / E. Steinnes [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000. Vol. 60. P. 71–88.

21. *Knabe W.* Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen // *Allgemeine Forstzeitschrift*. 1986. Vol. 33/34. S. 847–848.

22. *Kozlov M.V.* Environmental contamination in the central part of Kola Peninsula – history, documentation and perception // *Ambio*. 2000. Vol. 29. P. 512–517.

Поступила 10.03.11

*T.A. Sukhareva*

Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences

#### **Spatio-Temporal Dynamics of Microelement Composition of Conifers and Soils Under Industrial Pollution**

The paper considers microelement composition of conifer leaves and soils of northern taiga forests after the most powerful source of air pollution in Northern Europe – copper and nickel “Severonickel Combine” (Monchegorsk) – reduced its emissions. Long-term anthropogenic impact on the air changed the mineral composition of plants and soil within a radius of 100 km from the emission source. Defoliating forests and woodlands showed increased concentrations of Ni, Cu and Fe and low values of Mn and Zn in the needles and organic horizon of Al-Fe-humus podzols, which is the key nutrient for plants. Based on the monitoring data of two observation periods (1992 and 2007) we detected a reduction in the concentration of heavy metals (Cu, Ni, Fe) in the needles of Siberian spruce and Scots pine at various levels of air pollution. The most obvious changes are observed in the chemical composition of pine and spruce woodlands, which have the highest levels of anthropogenic impact on plant communities. Lower concentration of major pollutants did not contribute to optimization of mineral nutrition of dominant plant species in boreal forests. Negative changes in microelement composition, which occurred over many years, are associated with manganese and zinc impoverishment of the needles, which is especially pronounced in spruce. The soil maintains high concentrations of contaminants preventing optimization of the nutrient regime of forest ecosystems. The soil of spruce woodlands is depleted of manganese and zinc, which is one of the reasons for their content decline in spruce needles. Conifers, with their assimilative organs being highly sensitive to changes in growth conditions, can with advantage be used as informative bioindicators of air pollution in forest ecosystems.

*Keywords:* needles, soil, microelements, pollution, copper and nickel production.

УДК 575.17+575.167

**И.В. Петрова, С.Н. Санников, О.Е. Черепанова, Н.С. Санникова**

Ботанический сад УрО РАН

Петрова Ирина Владимировна окончила в 1979 г. Тюменский государственный университет, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией популяционной биологии древесных растений и динамики леса Ботанического сада УрО РАН. Имеет более 150 печатных работ по проблемам лесной факториальной экологии, биогеоценологии, экологической генетики, географии популяций древесных растений.  
E-mail: irina.petrova@botgard.uran.ru

Санников Станислав Николаевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Уральский лесотехнический институт, профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Имеет около 190 печатных работ по проблемам лесной факториальной экологии, биогеоценологии, экологической генетики, географии популяций древесных растений.  
E-mail: sannikovanelly@mail.ru

Черепанова Ольга Евгеньевна окончила в 2007 г. Курганский государственный университет, младший научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Имеет 12 печатных работ по проблемам внутривидовой изменчивости древесных растений, лесной факториальной экологии, экологической генетики.  
E-mail: zona-4@yandex.ru

Санникова Нелли Серафимовна окончила в 1971 г. Уральский государственный университет им. А.М. Горького, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Ботанического сада УрО РАН. Имеет около 90 печатных работ по проблемам лесной факториальной экологии, биогеоценологии и географии популяций древесных растений.  
E-mail: sannikovanelly@mail.ru

## **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БОЛОТНЫХ И СУХОДОЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) НА РУССКОЙ РАВНИНЕ**

Сосновые леса с доминированием сосны обыкновенной, произрастающие на олиготрофных и мезотрофных болотах, занимают значительную часть лесопокрытой площади Русской равнины.

Популяции древесных растений, в голоцене расселившихся с суходолов на болота, были вынуждены адаптироваться к качественно иному комплексу факторов среды. В ходе приспособления к условиям среды различных типов болот сформировались многообразные морфозотипы сосны обыкновенной. По всем главнейшим факторам почвенной среды (избыточно влажный, кислый, токсичный торфяной субстрат и др.), а также по структуре и продуктивности всего биогеоценоза заболоченные леса, особенно, на верховых болотах почти диаметрально противоположны соснякам на смежных суходолах.

Целью настоящего исследования было обобщение основных результатов зонально-географического изучения аллозимно-генетического полиморфизма и дифференциации поселений сосны обыкновенной на суходолах и смежных верховых болотах лесной зоны Русской равнины.

---

© Петрова И.В., Санников С.Н., Черепанова О.Е., Санникова Н.С., 2013

Основные результаты (полиморфизм и генетическая подразделенность популяций) были получены с применением электрофореза нативных белковых систем.

Разносторонние стационарные эколого-генетические исследования, проведенные нами в Западной Сибири, показали, что, вероятно, вследствие длительной фенологической репродуктивной изоляции, дизруптивного отбора и других факторов микроэволюции произошла более или менее значительная генетическая дивергенция болотных популяций от смежных суходольных. Сравнительное зонально-географическое изучение аллозимной структуры, полиморфизма и дифференциации проведено в четырех подзонах (северная, средняя, южная тайга и хвойно-широколиственные леса) лесной зоны Русской равнины. Доля полиморфных локусов, среднее число аллелей несколько уменьшается в направлении от северной тайги к подзоне хвойношироколиственных лесов. Анализ зонально-географических различий генетических дистанций Неи показал, что дифференциация в среднем клинально возрастает в направлении от северной к средней, южной тайге и предлесостепи. Аналогичная закономерность установлена ранее в Западной Сибири.

Предположительно генетическая дифференциация связана с влиянием комплекса факторов. Результаты проведенного исследования вполне подтверждают теорию генетической дивергенции болотных популяций *Pinus sylvestris* L. от суходольных в голоцене.

*Ключевые слова:* *Pinus sylvestris* L., популяция, полиморфизм, репродуктивная изоляция, генетическая дифференциация.

#### *Введение*

Сосновые леса с доминированием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на верховых (олиготрофных) и переходных (мезотрофных) болотах, занимают значительную часть лесопокрытой площади Русской равнины. Без специальных мер гидромелиорации они не представляют такой древесно-сырьевой ценности, как суходольные леса, но играют незаменимую природо- и социэкологическую роль в качестве одного из основных блоков сохранения экологического, особенно, водного баланса ландшафта.

По всем главнейшим факторам почвенной среды (избыточно влажный, кислый, токсичный и олиготрофный торфяной субстрат) [4–6, 8, 16], а также по структуре и продуктивности всего биоценоза заболоченные леса, особенно, на верховых болотах почти диаметрально противоположны соснякам на смежных суходолах [18].

Популяции древесных растений, в голоцене расселившиеся с суходолов на болота, были вынуждены адаптироваться к качественно иному комплексу факторов среды [13]. В ходе приспособления к условиям среды различных типов болот сформировались многообразные морфэкоотипы сосны обыкновенной. Согласно традиционной парадигме [2, 3, 9, 15, 20], они считались почвенными экотипами, генетически не отличающимися от смежных суходольных.

Разносторонние стационарные эколого-генетические исследования, проведенные нами в Западной Сибири, показали, что, вероятно, вследствие длительной фенологической репродуктивной изоляции, дизруптивного отбора

и других факторов микроэволюции произошла более или менее значительная генетическая дивергенция болотных популяций *Pinus sylvestris* L. от смежных суходольных [12, 13, 18]. Фрагментарные исследования генетической дифференциации болотных и суходольных популяций сосны проводили и в южной тайге Русской равнины [1, 7], но они недостаточны для выявления географических особенностей этого процесса.

Цель настоящей статьи – анализ и обобщение основных результатов зонально-географического изучения аллозимно-генетического полиморфизма и дифференциации поселений сосны обыкновенной на суходолах и смежных верховых болотах лесной зоны Русской равнины.

#### *Объекты и методы*

Сравнительное зонально-географическое изучение аллозимной генетической структуры, полиморфизма и дифференциации проведено в четырех подзонах лесной зоны Русской равнины: северная тайга (Мурманск: 68°52'60"; 33°54'70"; Кемь: 64°57'50.99"; 34°35'54.48"), средняя тайга (Петрозаводск: 61°46'05.18"; 34°13'53.43"; Сыктывкар: 61°35'5.7"; 50°50'2.3"), южная тайга (Западная Двина: 56°16'52.44"; 32°6'40.55"; Молодечно: 54°21'6.26"; 26°46'37.3"), хвойно-широколиственные леса (Волга: 56°36'36.3; 40°30'02.0"; Украинские Карпаты: 48°23'35"; 24°36'07").

В качестве объектов исследования отобрано 8 пар смежных популяций *P. sylvestris* на суходолах (*Pineta hylocomiosa*) и верховых болотах (сосняки кустарничково-сфагновые, *Pineta sphagnosa*) (рис. 1). Для определения аллельной структуры популяций с помощью изозимного анализа на каждой пробной площади собирали по одному латеральному побегу с хорошо развитыми почками от 40...48 деревьев 50–70-летнего возраста. Для определения потенциальной ксеногамии – вероятности скрещивания двух популяций – использовали графический метод [13]. Он заключается в определении относительной площади перекрытия полигона пыления одной популяции полигоном «цветения» другой, а также реципрокного перекрытия полигона «цветения» в первой популяции с полигоном пыления во второй. Площади полигонов пыления и «цветения» определяли с помощью программы Potoshop CS3. Степень фенологической изоляции популяций определяли как вероятность ксеногамии, равная отношению удвоенной площади перекрытия полигонов фенофаз пыления одной и «цветения» другой популяции к интегральной площади перекрытия полигонов фенофаз пыления и «цветения» сравниваемых популяций.

Электрофорез (в вертикальном блоке полиакриламидного геля), окрашивание и идентификацию ферментов, полученных из экстракта белков из тканей хвои и почек, проводили по общепринятым методиками [10]. В анализе использовали 15 локусов, кодирующих 9 ферментных систем (6-PGD (К.Ф. 1.1.1.43 – 2 локуса) 6-фосфоглюконатдегидрогеназа; GDH (К.Ф. 1.4.1.3 – 1 локус) глутаматдегидрогеназа; SKDH (К.Ф. 1.1.1.25 – 2 локуса) шикиматдегидрогеназа; ADH (К.Ф. 1.1.1.1 – 2 локуса) алкогольдегидрогеназа; PGM (К.Ф. 2.7.5.1 – 2 локуса) фосфоглюкомутаза; DIA (К.Ф. 1.6.4.3 – 1 локус)

диафороза; GOT (К.Ф. 2.6.1.1 – 3 локуса) глутамат-оксалацетаттрансаминаза; EST-F (К.Ф. 3.1.1.2 – 1 локус) флюоресцирующая эстераза; FDH (К.Ф. 1.2.1.2. – 1 локус) формиатдегидрогеназа). По данным изозимного анализа вычислены средние параметры внутрипопуляционного полиморфизма: частота аллелей на локус ( $A$ ), доля полиморфных локусов ( $P$ ), ожидаемая ( $H_e$ ) и наблюдаемая ( $H_o$ ) гетерозиготность.

О степени генетической дифференциации популяций судили по величине генетических дистанций Неи [23, 24], вычисленных с помощью пакета программ BIOSIS. Кластер генетических дистанций построен на базе пакета программ NTSIS на основе метода невзвешенных попарно-групповых средних.



Рис. 1. Карта-схема размещения пар популяционных выборок на суходолах и смежных болотах Русской равнины (в каждой точке по две выборки из смежных популяций болото–суходол, расположенные не далее 200...300 м друг от друга)

#### *Результаты и их обсуждение*

Во всех изучавшихся регионах среднее число аллелей на локус примерно одинаково в суходольных и болотных популяциях (табл. 1). Оно несколько уменьшается в направлении от северной тайги к подзоне хвойно-широколиственных лесов, но разница статистически недостоверна. В том же



Таблица 1

Аллельный полиморфизм *P. sibiricus* в сухоходельных и болотных популяциях

Популяция	А		Р		H <sub>e</sub>		H <sub>o</sub>	
	Болото	Суходол	Болото	Суходол	Болото	Суходол	Болото	Суходол
Кемь	2,5±0,3	2,7±0,3	80,0	80,0	0,265±0,060	0,253±0,054	0,236±0,053	0,237±0,051
	2,6±0,3	2,5±0,2	86,7	86,7	0,255±0,056	0,285±0,059	0,243±0,053	0,281±0,058
	2,55±0,3	2,6 ±0,3	83,35±2,233	83,4±2,23	0,260±0,058	0,269 ±0,057	0,240±0,053	0,259 ±0,055
<i>Северная тайга</i>								
Сыктывкар	2,6±0,3	2,5±0,3	80,0	80,0	0,309±0,055	0,307±0,056	0,300±0,056	0,284±0,052
	2,2±0,3	2,3±0,2	60,0	80,0	0,218±0,061	0,278±0,056	0,251±0,072	0,276±0,058
	2,4±0,3	2,4 ±0,3	70, 0±10,0	80,0	0,264 ±0,058	0,293±0,056	0,275±0,064	0,280±0,055
<i>Средняя тайга</i>								
Западная Двина	2,5±0,3	2,2±0,3	80,0	73,3	0,234±0,053	0,252±0,06	0,228±0,051	0,230±0,052
	2,4±0,3	2,4±0,3	68,8	81,3	0,233±0,048	0,267±0,058	0,262±0,053	0,265±0,055
	2,5±0,3	2,3±0,3	74,4± 5,6	77,3	0,234±0,051	0,260±0,059	0,245±0,052	0,248±0,054
<i>Южная тайга</i>								
Волга	2,2±0,3	2,3±0,3	73,3	73,3	0,266±0,062	0,300±0,057	0,236±0,054	0,267±0,053
	2,3±0,2	2,4±0,3	87,5	75,0	0,260±0,044	0,267±0,056	0,273±0,045	0,260±0,054
	2,3±0,3	2,4±0,3	80,4± 7,1	74,2± 0,85	0,263±0,053	0,284±0,057	0,255±0,050	0,264±0,054
<i>Предлесостепь</i>								

направлении уменьшается и доля полиморфных локусов (от 83,4 до 73,3 %), которая в болотных сосняках также почти не отличается от таковой на суходольных; исключение составляет лишь среднетаежная Петрозаводская выборка (60 %), где она достоверно меньше, чем в болотной. Параметры ожидаемой гетерозиготности на верховых болотах во всех подзонах Русской равнины ( $H_e = 0,234...0,260$ ) несколько меньше, чем на смежных суходолах (0,252...0,300), но различия также недостоверны. В обоих типах сравниваемых экотопов они, как и наблюдаемая гетерозиготность, мало отличаются от аналогичных параметров популяций *P. sylvestris* в Западной Сибири [17].

Анализ зонально-географических различий генетических дистанций Неи (табл. 2) между смежными поселениями сосны обыкновенной на суходолах и болотах свидетельствует о том, что их дифференциация в среднем клинально возрастает в направлении от северной тайги ( $DN_{78} = 0,004$ ) к средней тайге ( $DN_{78} = 0,006...0,007$ ), южной тайге ( $DN_{78} = 0,006$ ) и предлесостепи ( $DN_{78} = 0,010$ ). При этом, согласно нашей внутривидовой геносистематической шкале [17], степень аллозимно-генетической дивергенции в северной тайге не превышает уровень слабо подразделенных субпопуляций и лишь на юге лесной зоны в предлесостепи достигает ранга среднедифференцированных локальных популяций. Аналогичная закономерность установлена нами ранее в Западной Сибири.

Общее представление о степени обособленности смежных болотных и суходольных популяций *Pinus sylvestris* на территории Русской равнины, Карелии и Украинских Карпат отражают дендрограммы, приведенные на рис. 2 для 1978 г.

Таблица 2

Генетические дистанции Неи (1972 и 1978 гг.) между популяциями *Pinus sylvestris* на суходолах и смежных верховых болотах Русской равнины

Пары популяций	$DN_{72}$	$DN_{78}$
<i>Северная тайга</i>		
Мурманск-болото – Мурманск-суходол	0,007	0,003
Кемь-болото – Кемь-суходол	0,008	0,005
<i>Среднее</i>	0,008 ± 0,001	0,004 ± 0,001
<i>Средняя тайга</i>		
Сыктывкар-болото – Сыктывкар-суходол	0,005	0
Петрозаводск-болото – Петрозаводск-суходол	0,021	0,014
<i>Среднее</i>	0,013 ± 0,008	0,007 ± 0,007
<i>Южная тайга</i>		
Западная Двина-болото – Западная Двина-суходол	0,013	0,009
Молодечно-болото – Молодечно-суходол	0,007	0,003
<i>Среднее</i>	0,010 ± 0,003	0,006 ± 0,003
<i>Предлесостепь</i>		
Волга-болото – Волга-суходол	0,017	0,012
Карпаты-болото – Карпаты-суходол	0,012	0,007
<i>Среднее</i>	0,015 ± 0,003	0,010 ± 0,003

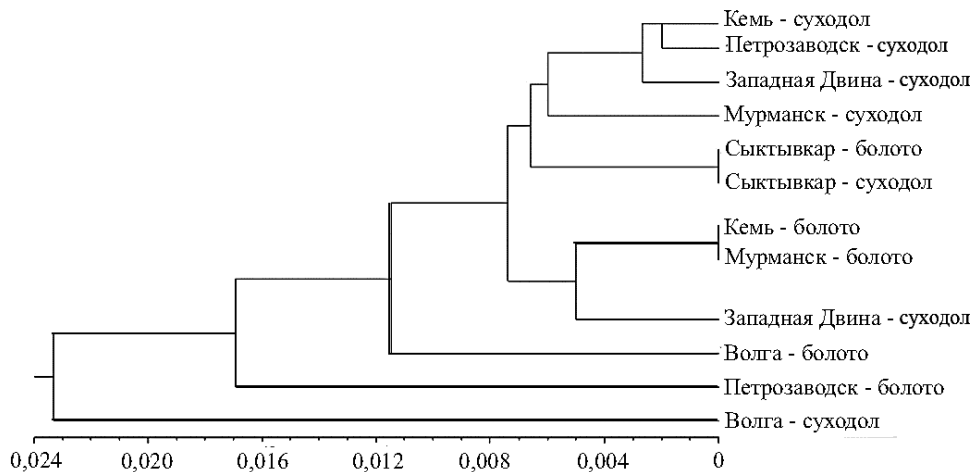


Рис. 2. Дендрограмма средних генетических дистанций Неи  $DN_{78}$  между популяциями *Pinus sylvestris* для Русской равнины

Можно предположить, что на Русской равнине, как и на Западно-Сибирской, снижение уровня генетической дивергенции популяций сосны на суходолах и смежных верховых болотах в направлении с юга на север ареала вида связано с влиянием комплекса факторов их микроэволюции [18, 19]. Во-первых, это выявленное нами уменьшение степени их фенологической репродуктивной изоляции, которая в предлесостепи (Нижний Новгород) составляет 93%, в южной тайге (Петрозаводск) – 31 %, в северной не более 20...25 % [17]. Во-вторых, следует учесть более позднее расселение (8,0...7.5 тыс. лет до н. э. [22]) и меньшее число поколений популяций сосны на болотах в «ледниковой зоне» северной тайги (Кемь, Мурманск) по сравнению с болотами предлесостепи, где сосна, вероятно, существовала с древнего голоцена [11, 21, 22]. И, наконец, могла сказаться более низкая, по сравнению с предлесостепью, скорость генетической дифференциации болотных популяций сосны от суходольных в северной тайге, установленная нами в Западной Сибири [14].

Следует отметить несколько меньший средний уровень генетической дифференциации поселений *Pinus sylvestris* на верховых болотах Русской равнины по сравнению с Западной Сибирью. Вероятно, это обусловлено существенными различиями в палеогеографии плейстоцена и истории формирования ареала сосны в этих ландшафтных странах [17], а также в типах верховых болот. На Русской равнине, даже на юге лесной зоны, они представлены менее выпуклыми и олиготрофными, по сравнению с западно-сибирскими «рямами», болотами. Как следствие, наблюдается несколько меньшая степень репродуктивной изоляции и аллозимной дифференциации восточно-европейских болотных популяций сосны от смежных суходольных по сравнению с западно-сибирскими.

Таким образом, результаты данного исследования вполне подтверждают теорию генетической дивергенции болотных популяций *Pinus sylvestris* от суходольных в голоцене [18].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатурова М.П., Хромова Л.В. Факторы, обеспечивающие формирование популяций сосны на болоте // Особенности формирования популяций сосны обыкновенной. М.: Наука, 1984. С. 56–74.
2. Аболин Р.И. Болотные формы сосны *Pinus sylvestris* L. // Тр. Ботанического музея АН. 1915. Вып. 14. С. 62–81.
3. Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука, 1978. 187 с.
4. Веретенников А.В. К динамике процессов отмирания и регенерации корневой системы сосны при временном избытке влаги // Лесн. журн. 1959. № 1. С. 26–33. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Веретенников А.В. Метаболизм древесных растений в условиях корневой аноксии. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1985. 151 с.
6. Волперский С.Э. Биологические основы эффективности лесосушения. М.: Наука, 1968. 312 с.
7. Духарев В.А. Частота самоопыления и отбор в популяциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 1985. № 3. С. 35–40.
8. Елпатьевский М.П. Лесная осушительная мелиорация. М.: Гослесбумиздат, 1957. 123 с.
9. Кобранов Н.П. К вопросу о происхождении болотной сосны // Изв. Лесн. ин-та. 1912. № 23. С. 79 – 156.
10. Корочкин Л.И., Серов О.Л., Пудовкин А.И. Генетика изоферментов. М.: Наука, 1997. 257 с.
11. Нейштадт Н.И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 404 с.
12. Петрова И.В. Гипотеза генетической девиации болотных поселений сосны обыкновенной в голоцене // Сб. тр. V съезда Всесоюзн. общества генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова. М., 1987. С. 132.
13. Петрова И.В., Санников С.Н. Изоляция и дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 159 с.
14. Петрова И.В., Санников С.Н., Филиппова Т.В. Гено-феногеография популяций сосны обыкновенной на Урале и в смежных регионах // Генетическая типология, динамика и география лесов России: Материалы Всерос. науч. конф. (с междунар. участием), посвященной 100-летию со дня рождения Б.П. Колесникова, 21-24 июля 2009, г. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 191–194.
15. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная: изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 161 с.
16. Пьявченко Н.И. Причины заболачивания лесных территорий // Лесн. хоз-во. 1952. № 12. С. 25–31.
17. Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 248 с.
18. Санников С.Н., Петрова И.В. Очерк теории генетической дивергенции суходольных и болотных популяций *P. sylvestris* L. // Экология. 2010. № 5. С. 352–356.
19. Санников С.Н. [и др.]. Градиенты среды смежных суходольных и болотных популяций *P. sylvestris* L. // Генетика, экология и география дендропопуляций и ценоэкосистем. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. С. 74–83.
20. Сукачев В.Н. О направлении и содержании ботанических работ в заповедниках // Сов. ботаника. 1936. № 3. С. 3–9.
21. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 198 с.

22. Lang G. Quartäre vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse. Jena; Stuttgart. N. York. 1994. 462 p.

23. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // Genetics. 1978. Vol. 89. P. 583–590.

24. Nei M. Genetic distance between populations // Amer. Naturalist. 1972. Vol. 106. P. 283–292.

Поступила 26.03.12

*I.V. Petrova, S.N. Sannikov, O.E. Cherepanova, N.S. Sannikova*

Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

### **Genetic Differentiation of Upland and Bog Populations of Scots Pine on the Russian Plain**

Pine forests dominated by Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and growing on bogs occupy a considerable part of the forested area of the East European Plain.

Those populations of woody plants that moved from the uplands to bogs during the Holocene had to adapt to entirely different environmental factors. As a result, there appeared a range of diverse Scots pine morphotypes. In terms of major factors of their soil environment, such as toxic acid peat substrate with excess moisture content, and in terms of their structure and efficiency of the entire biogeocenosis, bog forests (especially those on raised bogs) are almost “diametrically opposite” to the pine forests of the adjacent uplands.

The research aimed to summarize the main results of the zonal-geographical study of allozyme-genetic polymorphism and differentiation of Scots pine colonies on uplands and adjacent bogs of the forested area of the East European Plain.

The main results (polymorphism and genetic subdivision of populations) were obtained using native protein systems electrophoresis.

Our many-sided ecological and genetic researches in Western Siberia indicate that long-term phenological reproductive isolation, disruptive selection and other microevolution factors could have caused more or less significant genetic divergence of bog and adjacent upland populations of Scots pine. The comparative zonal-geographical research of allozyme structure, polymorphism and differentiation was carried out in four subzones (northern, middle, southern taiga and mixed coniferous-deciduous forests) of the forested area of the East European Plain. The quantity of polymorphous loci and the average number of alleles slightly decreases in the direction from the northern taiga to the subzone of mixed coniferous-deciduous forests. The analysis of the zonal-geographical differences of Nei's genetic distance indicates that, on the average, the differentiation is increasing wedge-like from the northern to the middle and southern taiga and to forest-steppe. A similar regularity had earlier been detected in Western Siberia.

Genetic differentiation is perceived to be connected with a set of influencing factors. The results of our research fully support the theory of genetic divergence of bog populations of *Pinus sylvestris* L. from the upland ones in the Holocene.

*Keywords:* *Pinus sylvestris* L., population, polymorphism, reproductive isolation, genetic differentiation.

УДК 630\*27:630\*181.28

**В.А. Брынцев, М.И. Храмова**

Московский государственный университет леса

Брынцев Владимир Альбертович родился в 1962 г., окончил в 1984 г. Московский лесотехнический институт, профессор кафедры селекции, генетики и дендрологии Московского государственного университета леса, доктор сельскохозяйственных наук. Имеет более 70 печатных работ, из них 40 в области лесной селекции, семеноводства и интродукции.  
E-mail: bryntsev@mail.ru

Храмова Мария Игоревна окончила в 2010 г. Нижегородскую сельскохозяйственную академию, аспирант кафедры селекции, генетики и дендрологии Московского государственного университета леса. Имеет около 10 печатных работ в области лесной селекции.  
E-mail: hramova.masha2011@yandex.ru

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ**

Цель исследований заключалась в изучении изменчивости семенного потомства интродукционных культур сосны кедровой сибирской и отборе наиболее адаптированных семей и индивидуумов для создания лесосеменной базы этой породы в регионе интродукции.

В наши задачи входило определить лучшие интродукционные насаждения и материнские деревья; исследовать семейственную и индивидуальную изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской по основным параметрам; изучить особенности сезонного роста и развития апикального побега сеянцев интродукционной генерации; исследовать сеянцы на начальных этапах онтогенеза и, используя методы ранней диагностики, провести отбор лучших семей и индивидуумов.

Объектами исследования являлись сеянцы сосны кедровой сибирской в возрасте от 1 до 7 лет нижегородского, ветлужского и томского происхождений.

Исследование семенного потомства разного происхождения показало, что лучшими показателями отличаются сеянцы из семян местной нижегородской интродукционной популяции. По результатам фенологических наблюдений в течение двух лет установлено превосходство сеянцев из семян нижегородских насаждений, что можно объяснить их лучшей адаптацией в данном районе. Методы ранней диагностики позволяют провести отбор наиболее перспективных семей по результатам исследований всходов.

Изучена популяционная, семейственная и индивидуальная изменчивость сосны кедровой сибирской по основным параметрам, интенсивности сезонного роста и индивидуальным особенностям и проведен отбор наиболее быстрорастущих семей и особей, которые рекомендуется использовать для создания объектов постоянной лесосеменной базы в регионе исследований.

*Ключевые слова:* интродукция, сосна кедровая сибирская, сеянцы, изменчивость, отбор.

Кедр сибирский благодаря совокупности полезных свойств является одним из старейших интродуцентов в европейской части России [1]. Целесообразность перенесения сосны кедровой сибирской в новые лесорастительные районы определяется не только хозяйственно-ценными признаками и особенностями (декоративность, устойчивость к загрязнению воздуха, длительный период жизни, высокие вкусовые качества орехов, получаемые продукты переработки семян, шишек, хвои, живицы, ценная древесина и т.д.), но и достаточно высокой адаптивной способностью данного вида. Литературные источники подтверждают успешный рост, семеношение и образование жизнеспособных семян этой породы в условиях интродукции [4, 5, 7, 8, 16].

После выращивания экзотов из привозных семян и длительного их испытания в новых условиях следующим важным этапом акклиматизации интродуцента является получение растений из семян местной репродукции [9, 14]. Материнские деревья прошли естественный отбор в новых условиях, находятся в хорошем состоянии, вступили в стадию семеношения и дают жизнеспособное потомство. Поэтому сеянцы местной интродукционной генерации более устойчивы к климатическим факторам нового региона по сравнению с растениями, выращенными из семян, полученных из ареала их естественного произрастания.

В плюсовой селекции автохтонных видов анализ семенного потомства служит главным образом для оценки материнских деревьев. По результатам оценки семенного потомства отбирают материнские плюсовые деревья, вегетативное потомство которых используется для создания лесосеменных плантаций. Этот метод можно применить и для интродуцентов. Однако здесь есть свои особенности. Интродукционное семенное потомство имеет самостоятельную ценность для дальнейшей репродукции. Во-первых, отбор, часто достаточно жесткий, проходит в первом поколении интродуцентов, и о материнских растениях, выросших в новых условиях, вступивших в стадию семеношения и давших жизнеспособное потомство, можно говорить как о вполне акклиматизированных. Однако они были привезены в район интродукции в стадии семян и не проходили в новых условиях раннего эмбрионального этапа онтогенеза, который имеет большое значение в формировании циклов, сохраняющихся у растений на всю жизнь. Поэтому семенное потомство интродуцентов целесообразно использовать для создания постоянной лесосеменной базы в регионе интродукции. Первичный отбор семей и особей может проводиться уже на стадии сеянцев по общим характеристикам роста и с применением методов ранней диагностики.

Проводить отбор растений на ранних этапах онтогенеза для повышения эффективности создаваемых объектов рекомендуют многие авторы [2, 13, 15]. У сосны кедровой сибирской большинство хозяйственно ценных признаков проявляется с 30...50 лет, поэтому актуальным является применение методов ранней диагностики для отбора по хозяйственно-ценным признакам. Известно [3], что у всходов кедра сибирского, имеющих большее число семядолей,

отмечается в дальнейшем лучший рост по высоте, диаметру, лучшее накопление фитомассы, более раннее репродуктивное развитие и повышенная урожайность. Деревья кедра сибирского, выращенные из всходов с длинными семядолями, по данным Р.Н. Матвеевой и О.Ф. Буторовой [12], превосходят по высоте короткосемядольные. Наибольшие показатели по диаметру и высоте стволика, формирование не менее двух крупных боковых почек в верхней мутовке у 3–4-летних сеянцев являются диагностическими признаками, указывающими на быстроту роста [12]. Наибольшей высотой, диаметром и фитомассой в зрелом возрасте отличаются растения, относящиеся к многопочковой форме в 3–4-летнем возрасте [3].

Таким образом, исследования сеянцев кедра сибирского интродукционной популяции позволяют не только оценить адаптивные возможности отдельных семей и деревьев, но и, используя методы ранней диагностики, провести обор наиболее продуктивных из них для создания лесосеменной базы в регионе интродукции.

В задачи исследований входило:

по морфологическим признакам, оценке семеношения интродукционных культур и анализу роста их семенного потомства определить лучшие интродукционные насаждения и материнские деревья;

исследовать семейственную и индивидуальную изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской по основным параметрам;

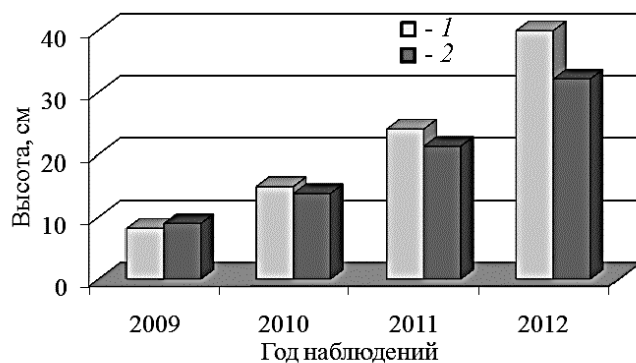
изучить особенности сезонного роста и развития апикального побега сеянцев интродукционной генерации;

исследовать сеянцы на начальных этапах онтогенеза и, используя методы ранней диагностики, провести отбор лучших семей и индивидуумов.

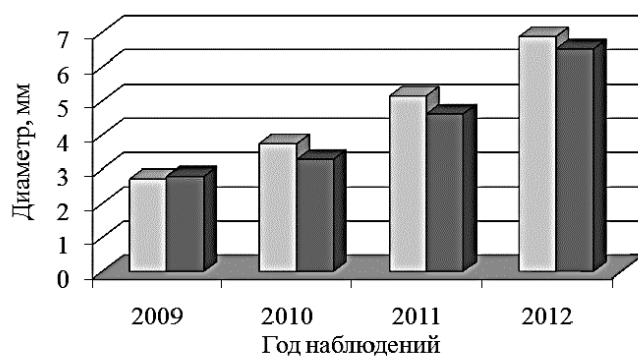
Объектами исследования являлись сеянцы сосны кедровой сибирской в возрасте от 1 до 7 лет. Семена были заготовлены в 30-летних ландшафтных культурах, произрастающих в Нижнем Новгороде (лесосеменной район 34и) и в 50-летних культурах в Ветлужском районе Нижегородской области (лесосеменной район 31б). Для сравнения были высеяны семена из естественного ареала произрастания данного вида – Шегаро-Чулымского лесосеменного района Томской области (16а). С ежегодно семеносящих интродукционных нижегородских насаждений за 4 года посева было выращено 35 семей по разным материнским деревьям, с ветлужских – 5 семей 2007 г. посева. Семена высевались в 2006, 2007, 2009 и 2010 гг., замеры сеянцев производили с 2009 по 2012 гг. Всего за 4 года было измерено более 4400 сеянцев. Исследования проводили в Нижегородской области, входящей в Верхне-Волжский район интродукции сосны кедровой сибирской [10].

Результаты изучения основных параметров семенного потомства нижегородских и ветлужских насаждений за 4 года наблюдений представлены на рис. 1. Как видно из гистограмм, с возрастом отмечается увеличение превосходства нижегородских сеянцев по высоте и диаметру. По количеству почек различия сильно варьируются по годам наблюдений. Сеянцы местной

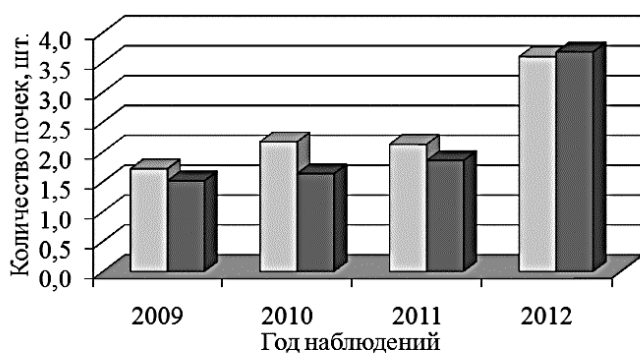




*a*



*б*



*в*

Рис. 1. Параметры нижегородских (1) и ветлужских (2) семян по годам наблюдений: *a* – высота; *б* – диаметр; *в* – количество почек

интродукционной популяции, исходя из основных параметров, лучше акклиматизировались в данных условиях. Существенность различий определяли по критерию Фишера F. Различия существенны ( $F_{\text{опыт}} > F_{0,5}$ ) по всем параметрам, кроме диаметра и количества почек в 2012 г. ( $F_{\text{опыт}} < F_{0,5}$ ).

Средние значения основных параметров семян нижегородской и томской популяций по двум годам наблюдений представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Средние значения основных показателей семян разных интродукционных популяций**

Интродукционная популяция	Высота, см		Диаметр, мм		Количество почек, шт.	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Нижегородская	41,5±0,8	58,7±1,1	8,5±0,2	10,6±0,3	3,2±0,1	4,5±0,1
Томская	35,2±1,2	48,0±1,6	8,6±0,3	10,2±0,4	2,7±0,2	4,3±0,2

Как видно из табл. 1, местные семена существенно превосходят томские по высоте и количеству почек по двум годам наблюдений, различия по диаметру невелики. Достоверность различий определялась критерием Стьюдента t. По высоте различия достоверны ( $t_{\text{опыт}} > t_{0,5}$ ).

Средняя длина хвои и коэффициент вариации этого признака по популяциям по двум годам наблюдений представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Средняя длина хвои семян разных лет посева**

Интродукционная популяция	2011		2012	
	Длина хвои, см	Коэффициент вариации, %	Длина хвои, см	Коэффициент вариации, %
Нижегородская Ветлужская	<i>5-летние семена 2007 г. посева</i>		<i>6-летние семена 2007 г. посева</i>	
	7,6±0,19	8,1	6,7±0,15	7,5
Нижегородская Томская	<i>6-летние семена 2006 г. посева</i>		<i>7-летние семена 2006 г. посева</i>	
	6,8±0,28	9,2	6,9±0,34	10,9
Нижегородская Томская	<i>8-летние семена 2006 г. посева</i>		<i>7-летние семена 2006 г. посева</i>	
	8,8±0,21	7,8	7,6±0,16	7,12
	8,5±0,14	11,7	7,1±0,42	35,69

Из табл. 2 видно, что средняя длина хвои только в 2011 г. у нижегородских семян 2007 г. посева превышает длину хвои ветлужских (различия достоверны на 1 %-м уровне значимости). При сравнении семян 2006 г. посева установлено, что нижегородские имеют более длинную, чем томские, хвою по двум годам исследований. У местной нижегородской интродукционной популяции наблюдаются лучшие результаты в росте потомства.

Семейственная изменчивость семян разных популяций в 5- и 6-летнем возрасте представлена в табл. 3.

Таблица 3

## Основные параметры нижегородских и ветлужских сеянцев по семьям

Семья	Высота, см		Диаметр, мм		Количество почек, шт.	
	5-летние	6-летние	5-летние	6-летние	5-летние	6-летние
<i>Нижегородские сеянцы</i>						
1	27,1±1,1	42,3±2,0	5,5±0,2	7,6±0,4	2,2±0,1	4,0±0,3
2	25,7±1,3	38,6±2,1	5,2±0,2	6,6±0,4	1,9±0,1	3,3±0,2
3	23,2±2,3	31,5±3,4	5,6±0,5	6,7±0,7	1,5±0,2	2,9±0,5
9	24,6±1,1	37,3±2,0	5,2±0,2	7,1±0,3	2,5±0,1	3,6±0,2
13	27,7±1,0	36,6±1,9	5,5±0,2	7,4±0,4	2,5±0,2	3,9±0,2
14	18,2±0,7	29,1±1,3	4,5±0,1	6,1±0,3	2,3±0,1	3,7±0,2
24	29,6±1,8	44,2±2,7	5,7±0,3	7,2±0,5	1,7±0,2	3,8±0,4
25	27,0±0,1	44,0±1,7	5,2±0,2	6,9±0,3	1,9±0,1	3,4±0,2
27	21,7±0,8	32,2±1,3	4,8±0,2	6,1±0,2	1,9±0,1	3,2±0,2
29	24,4±0,8	39,8±1,5	5,3±0,2	7,3±0,3	2,1±0,2	3,5±0,4
34	14,7±0,8	23,4±1,5	4,4±0,3	6,0±0,5	2,4±0,2	3,9±0,4
<i>Среднее</i>	24,1±0,8	37,0±0,6	5,2±0,1	6,9±0,1	2,1±0,1	3,6±0,1
<i>Ветлужские сеянцы</i>						
2	20,8±0,8	30,1±0,8	4,7±0,2	6,5±0,4	1,8±0,1	4,0±0,3
3	21,7±0,7	32,2±1,1	4,8±0,2	6,8±0,2	2,0±0,1	3,8±0,3
4	11,5±0,9	19,2±3,1	3,9±0,2	5,6±0,5	1,2±0,0	2,8±0,7
5	16,3±0,6	25,1±1,5	4,0±0,1	5,7±0,3	1,7±0,1	3,9±0,2
6	26,5±1,0	39,5±1,6	5,0±0,1	6,9±0,3	2,0±0,1	2,9±0,3
<i>Среднее</i>	21,3±0,5	32,2±0,8	4,6±0,1	6,5±0,2	1,9±0,1	3,7±0,1

Из данных табл. 3 видно, что по основным параметрам можно выделить те семьи, которые имеют значения выше среднего: по высоте – 1, 2, 24, 25, 29; по диаметру – 1, 9, 13, 24, 25, 29; по количеству почек – 1, 3, 13, 14, 24, 34. Изучение внутривидового полиморфизма семенного потомства представляет практический интерес для селекции сосны кедровой сибирской в зоне интродукции. По мнению С.А. Мамаева [11], изучение варьирования признаков дает более полную картину внутривидовой изменчивости. Поэтому был рассчитан коэффициент вариации различных признаков сеянцев в пределах семей (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что коэффициент изменчивости сильно варьирует. По классификации С.А. Мамаева [11] это повышенный, высокий и очень высокий (в отдельных случаях) уровень изменчивости. Высокая изменчивость по фенотипическим признакам семенного потомства внутри семей указывает на перспективность проведения индивидуального отбора, в том числе с применением методов ранней диагностики.

Изучение фенологии и сезонной динамики роста имеет большое значение для испытания семенного потомства интродукционных насаждений сосны кедровой сибирской [4]. В течение сезонного роста может проявляться популяционная, семейственная и индивидуальная изменчивость. Выявление такой изменчивости у семенного потомства является важным моментом при отборе наиболее адаптированных к новым условиям среды семей и индивидуумов. Фенологические исследования проводились в 2011 и 2012 гг. Для получения средних значений в каждом варианте измерялось по 20 растений.

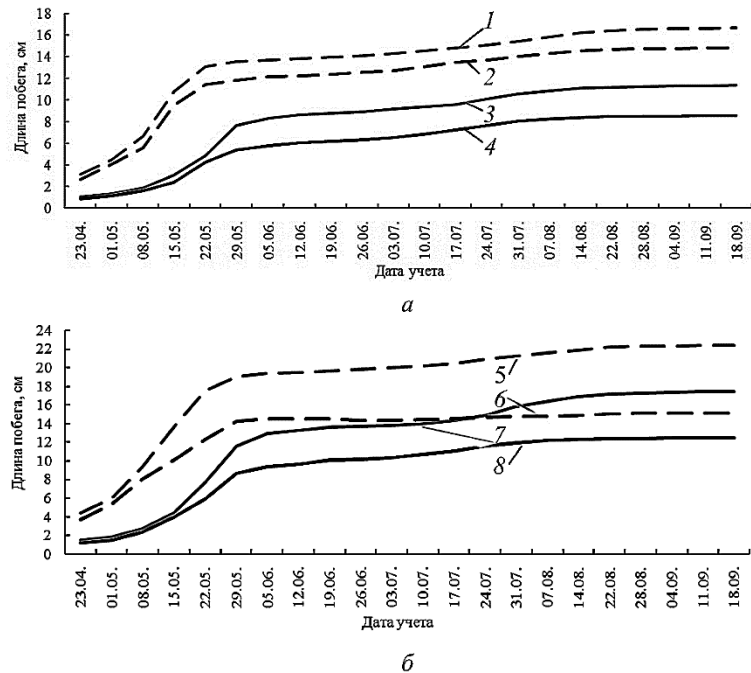
Таблица 4

**Коэффициент вариации для исследуемых показателей сеянцев семей нижегородской интродукционной популяции (2012 г.)**

Семья	Коэффициент вариации, %					
	Высота		Диаметр		Количество почек	
	6-летние	7-летние	6-летние	7-летние	6-летние	7-летние
1	30,1	–	31,5	–	41,6	–
2	39,4	37,8	39,4	39,5	44,1	38,3
3	38,7	47,8	36,7	40,4	68,6	54,7
9	34,1	26,9	28,7	31,3	35,1	45,7
13	37,0	27,9	39,7	30,9	45,9	46,1
14	31,6	19,4	29,7	23,5	44,7	32,6
16	–	25,7	–	26,1	–	43,2
17	–	35,6	–	34,0	–	26,3
18	–	20,4	–	23,1	–	28,0
20	–	23,3	–	22,9	–	42,7
24	28,0	33,2	29,4	38,4	54,2	39,7
25	26,6	–	33,1	–	42,7	–
27	25,2	–	24,7	–	39,9	–
29	25,3	–	26,5	–	49,7	–
34	25,3	–	30,9	–	42,5	–
39	–	13,1	–	17,1	–	34,4
41	–	18,1	–	23,1	–	40,3

Полученные результаты исследований сезонного роста сеянцев разных популяций (2007 и 2006 гг. посева) по двум годам наблюдений представлены на рис. 2.

Рис. 2. Динамика роста апикального побега сеянцев 2007 г. (а) и 2006 г. (б) посева: 1, 3, 5, 7 – нижегородские; 2, 4, – ветлужские; 6, 8 – томские; 1, 2, 5, 6 – 2012 г.; 3, 4, 7, 8 – 2011 г.



Из рис. 2 следует, что сеянцы, выращенные из семян нижегородского насаждения, превосходят ветлужские и томские сеянцы по динамике сезонного роста в 6- и 7-летнем возрасте.

Скорость сезонного роста апикального побега и хвои нижегородских сеянцев представлена на рис. 3.

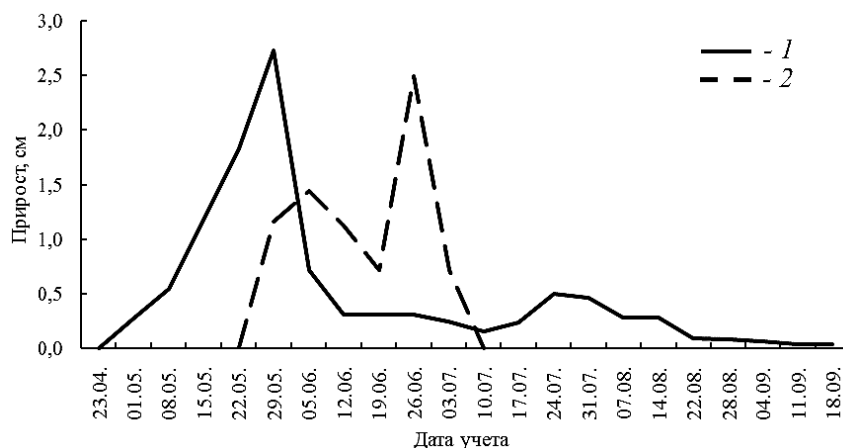


Рис. 3. Средние значения скорости роста побега (1) и хвои (2) у 5-летних нижегородских сеянцев

Анализ графиков на рис. 3 показал, что в сезонном росте центрального побега и хвои наблюдаются два максимума. Резкое уменьшение скорости роста хвои, скорее всего, связано с изменениями погодных условий в период с 12 по 19 июня. Одна из особенностей сезонного роста сосны кедровой сибирской – наличие вторичного прироста центрального побега во второй половине вегетационного периода. Поэтому скорость роста побега имеет два максимума – один характеризует основной прирост, другой – вторичный.

Индивидуальная изменчивость сеянцев по скорости сезонного роста представлена на примере 7-летних нижегородских сеянцев из семян дерева № 3 (рис. 4).

Приведенные на рис. 4 графики свидетельствуют об очень высокой индивидуальной изменчивости по скорости сезонного роста в течение всего вегетационного периода. Можно выделить сеянцы с более ранним наступлением максимума основного роста, они же имеют максимальный вторичный прирост. Некоторые индивидуумы имеют низкую интенсивность вторичного прироста.

По данным Р.Н. Матвеевой, О.Ф. Буторовой [12] такие диагностические признаки 1-летних сеянцев, как количество семядолей и их длина, влияют на дальнейшие биометрические показатели растений в старшем возрасте. В табл. 5 представлены средние значения основных параметров 3–4-летних сеянцев в зависимости от количества и длины семядолей нижегородских сеянцев 2009 г. посева.

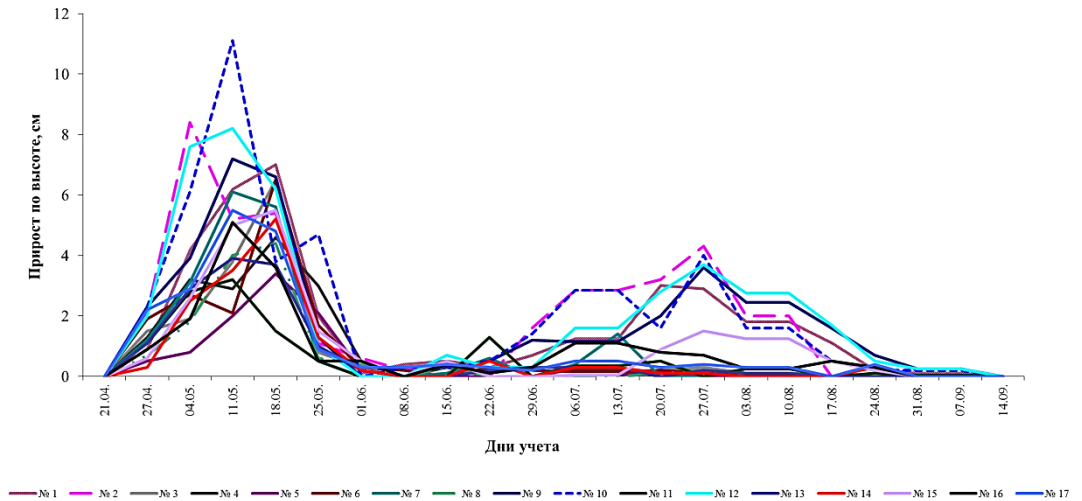


Рис. 4. Скорость сезонного роста нижегородской популяции на примере сеянцев (с 1 по 17) потомства дерева № 3

Таблица 5

**Основные показатели сеянцев семей нижегородской интродукционной популяции**

Семья	Количество семядолей, шт.	Длина семядолей, см	Параметры сеянцев							
			3-летних				4-летних			
			<i>H</i> , см	<i>D</i> , мм	<i>N</i> , шт.	<i>P</i> , см	<i>H</i> , см	<i>D</i> , мм	<i>N</i> , шт.	<i>P</i> , см
2	10,4	3,2	10,7	2,8	1,6	1,3	16,6	3,7	1,6	0,8
3	10,7	3,3	8,5	2,8	1,7	1,1	14,9	3,7	1,9	0,9
9	10,8	3,0	9,3	3,1	1,5	1,7	13,5	3,8	1,9	0,8
13	11,0	3,2	10,5	3,0	1,3	0,9	15,8	3,7	1,0	0,6
14	11,3	3,5	11,6	3,5	1,9	2,2	17,8	4,5	2,7	1,3
20	11,4	3,6	10,9	3,0	1,5	1,2	16,9	3,9	1,7	1,1
41	11,4	3,1	9,7	3,0	1,7	1,6	15,7	3,6	1,8	0,9
<i>Среднее</i>	11,0	3,2	10,1	3,0	1,6	1,4	15,8	3,8	1,8	0,9

Примечание. *H* – высота сеянцев; *D* – диаметр; *N* – количество почек; *P* – вторичный прирост.

Из табл. 5 видно, что у сеянцев дерева № 14, имеющих максимальное количество семядолей и их длину, отмечены наибольшие значения основных показателей среди остальных семей. Сеянцы дерева № 20 в 4-летнем возрасте имеют высокие значения по всем показателям, кроме количества почек.

Для выявления зависимости количества и длины семядолей с основными показателями 3–4-летних сеянцев был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в табл. 6. При определении степени тесноты связи между признаками использовали таблицу тесноты связи [6].

Таблица 6

**Результаты корреляционного анализа между диагностическими признаками  
1-летних сеянцев и основными показателями 3- и 4-летних сеянцев**

Коррелирующие признаки		Коэффициент корреляции для сеянцев	
Диагностические признаки	Основные показатели	3-летних	4-летних
Количество семядолей	Высота, см	0,38	0,39
	Диаметр, см	0,47	0,40
	Количество почек, шт.	0,25	0,24
	Длина вторичного прироста, см	0,28	0,51
Длина семядолей	Высота, см	0,63	0,78
	Диаметр, мм	0,32	0,64
	Количество почек, шт.	0,26	0,32
	Длина вторичного прироста, см	0,03	0,62

Из табл. 6 видно, что количество семядолей имеет умеренную связь с высотой и диаметром сеянцев в 3- и 4-летнем возрасте и значительную с длиной вторичного прироста в 4-летнем возрасте. Длина семядолей имеет высокую связь с высотой 4-летних сеянцев, значительную – с высотой 3-летних, с диаметром и длиной вторичного прироста 4-летних сеянцев.

*Выводы*

1. Исследование семенного потомства разного происхождения показало, что лучшими показателями отличаются сеянцы из семян местной нижегородской интродукционной популяции.

2. Результаты фенологических наблюдений в течение двух лет подтверждают превосходство сеянцев из семян нижегородских насаждений, что можно объяснить их лучшей адаптацией в данном районе.

3. Методы ранней диагностики позволяют провести отбор наиболее перспективных семей по результатам 1-летних всходов. Установлена связь количества семядолей и их длины с биометрическими показателями сеянцев в 3–4-летнем возрасте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев А.Б. Интенсивная агротехника выращивания саженцев кедра сибирского // Лесохозяйств. информ. 2008. № 8-9. С. 16–18.

2. Братилова Н.П. Влияние числа семядолей на рост 25-летнего кедра сибирского в плантационных культурах // Лесн. журн. 2007. № 6. С. 56–60. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Братилова Н.П.* Изменчивость кедр сибирского в плантационных культурах юга Средней Сибири в зависимости от формового разнообразия всходов и сеянцев. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2005. 116 с.
4. *Брынцев В.А.* Значение фенологических фаз при выращивании кедр сибирского // Лесохозяйств. информ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1997. № 8. С. 8–16.
5. *Брынцев В.А.* Исследование семеношения кедр сибирского при интродукции // Науч. тр. / МЛТИ. М., 1991. № 25. 4 с.
6. *Гусева Л.М., Кузнецова Е.С.* Моделирование экосистем: метод. указ. Ч. 1. Н.-Новгород: НГСХА, 2005. 45 с.
7. *Дроздов И.И., Дроздов Ю.И.* Лесная интродукция: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2003. 135 с.
8. *Игнатенко М.М.* Сибирский кедр. М.: Наука, 1988. 162 с.
9. *Коженкова А.А.* Способы размножения пятихвойных сосен для целей лесовыращивания в зоне смешанных лесов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1987. 18 с.
10. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
11. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1972. 384 с
12. *Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф.* Генетика, селекция, семеноводство кедр сибирского. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2000. 243 с.
13. *Матвеева Р.Н.* Особенности хранения семян, выращивания посадочного материала и создания культур целевого назначения сосны сибирской: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Йошкар-Ола, 1994. 38 с.
14. *Некрасов В.И.* Основы семеноведения древесных растений при интродукции. М.: Наука, 1973. 280 с.
15. *Титов Е.В.* Плантационное лесовыращивание кедровых сосен: учеб. пособие. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2004. 165 с.
16. *Храмова О.Ю.* Репродуктивная способность и перспективы хозяйственного использования сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) при интродукции в Поволжье (на примере Нижегородской области): дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2009. 164 с.

Поступила 20.09.13

*V.A. Bryntsev, M.I. Khranova*

Moscow State Forest University

### **Variability of Seed Progeny of Siberian Pine at Introduction**

The research aimed to study the variability of seed progeny of introduced Siberian pine and selection of the most adapted families and individuals to create a forest seed base of this species in the region of introduction.

The tasks were to define the best introduction plantations and parent trees; explore family and individual variability of Siberian pine seed progeny by key parameters; study the



seasonal growth and development of the apical shoot of seedlings of the introduced generation; investigate the seedlings at the initial stages of ontogeny and, using early diagnostics, select the best families and individuals.

The objects of our research were seedlings of Siberian pine aged 1 to 7 years from Nizhny Novgorod, Vetluga and Tomsk.

The study of seed progeny of different origin showed that seedlings from the seeds of the local Nizhny Novgorod population have the best properties. The results of the two-year phenological observations indicate superiority of the seedlings from the seeds of Nizhny Novgorod plantations, which can be explained by their better adaptation in this area. Methods of early diagnostics help select the most promising families by the results of researches on yearlings. We studied the population, family and individual variability in Siberian pine by key parameters, intensity of seasonal growth and individual features. In addition, we selected the most fast-growing families and individuals which are recommended for a permanent forest seed base in the region.

*Keywords:* introduction, Siberian pine, seedlings, variability, selection.

---



УДК 630\*378

*А.Л. Попов*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Попов Александр Леонидович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры водного транспорта леса и гидравлики, ассистент кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области водного транспорта леса и взаимодействия твердых тел с сыпучими средами.  
E-mail: a.l.popov@narfu.ru

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМ ПРИЗМ ВЫПИРАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ЛЕСОСПЛАВНЫХ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ**

Надежная и безаварийная эксплуатация опор зависит не только от их конструкции, но и от методики расчета держащей силы опоры. Существующие на данный момент методики определения несущей способности основаны на заранее известной форме призмы выпирания, образующейся перед анкерной опорой при ее сдвиге. Поэтому очень важно точное определение форм линий скольжения.

В настоящее время все более широкое применение находят методы, основанные на компьютерном способе обработки изображений. Метод Particle Image Velocimetry (PIV) позволяет обрабатывать изображения, полученные с помощью видео- и фотосъемки.

Метод определения форм линий скольжения грунта при помощи MatPIV апробирован в лаборатории кафедры водного транспорта леса и гидравлики САФУ в грунтовом бассейне с прозрачной боковой стенкой. Была установлена принципиальная возможность регистрации форм линий скольжения данным методом, а также разработана компьютерная программа в MatLab, которая позволяет определять точки сдвига грунта по каждой строке элементарных площадок и строить экспериментальные линии скольжения, проходящие через кромки анкера. С помощью полученных зависимостей были построены теоретические линии скольжения и проведен сравнительный анализ.

Опыты проводили по заранее разработанному плану. Варьируемый фактор – относительная глубина заложения анкера (отношение глубины заложения к диаметру анкера). Уровни варьирования относительной глубины: 2, 4 и 6. В каждой серии на модели проводилось по 6 опытов.

Теоретические линии скольжения рассчитывали по методу квазипотенциального моделирования механических характеристик работы анкера в грунтовом массиве. Установлено, что теоретические линии скольжения удовлетворительно совпадают

с экспериментальными. Коэффициент корреляции равен 0,912, среднее отклонение – 10,07 %. Для механики грунтов это является достаточным соответствием.

Использование метода PIV позволяет унифицировать и автоматизировать процесс регистрации форм линий скольжения.

*Ключевые слова:* водный транспорт леса, анкер, линии скольжения, метод PIV, квази-потенциальная модель.

Опоры анкерного типа широко используются в водном транспорте леса для крепления плотов и гидротехнических сооружений.

Надежная и безаварийная эксплуатация опор зависит не только от их конструкции, но и от методики расчета держащей силы опоры. Методы расчета несущей способности опор можно разбить на три большие группы [1]. К первой относятся методы, в которых очертания кривой скольжения задают на основании тех или иных принятых допущений и практических соображений, ко второй – так называемые строгие методы, в которых очертание кривой скольжения находят в результате теоретических расчетов, к третьей – методы, в которых поверхности скольжения задают приближенным, но достаточно хорошо согласующимся с опытами и строгими теориями способом, что позволяет значительно упростить решение по сравнению с другими методами.

Как видно, существующие на данный момент методики определения несущей способности основаны на заранее известной форме призмы выпирания, образующейся перед анкерной опорой при ее сдвиге. Поэтому очень важно точно определить формы линий скольжения.

Формы линий скольжения при проведении исследований регистрируют различными методами. В.И. Курдюмов предложил метод непосредственного фотографирования движения грунтовых частиц [3]. На фотографиях видно движение грунтовых частиц, но нет четкой границы, по которой происходит скольжение грунтового массива. По методу цветных полосок фотографируют массив грунта и цветные полоски, уложенные у стекла лотка с грунтом. При деформации грунтового массива цветные полоски плавно изгибаются, что видно на фотографиях. В этом случае определение линии сдвига затруднено. Более четко поверхности выпирания или обрушения, по которым произошло скольжение призмы, видны только в момент ее разрушения.

В настоящее время все более широкое применение находят методы, основанные на компьютерном способе обработки изображений. Метод Particle Image Velocimetry (PIV) позволяет обрабатывать изображения, полученные с помощью видео- и фотосъемки. Два изображения, на одном из которых зафиксированы частицы, разбивают на элементарные (расчетные) области размером  $d_x \times d_y$ . Зная временную задержку между фотографическими снимками и рассчитав наиболее вероятное перемещение частиц в данной элементарной области, можно рассчитать скорость. Подобная операция для каждой элементарной области, на которые разбито все поле течения, позволяет рассчитать мгновенное поле скоростей [5].

Программный модуль MatPIV, разработанный для программы MatLab Университетом г. Осло [6], позволяет получить поле скоростей при обработке двух изображений. Обработывая полученные результаты в MatLab, можно получить векторное поле скоростей.

Исследование процессов многофазного потока в трубопроводах с помощью MatPIV проводили в Университете г. Ставангер (Норвегия) проф. Р. Тиме [7]. Автором был изучен опыт обработки изображений при помощи MatPIV.

Метод определения форм линий скольжения грунта с использованием MatPIV апробирован под руководством А.Н. Вихарева в лаборатории кафедры водного транспорта леса и гидравлики САФУ в грунтовом бассейне с прозрачной боковой стенкой. В ходе эксперимента была установлена принципиальная возможность регистрации форм линий скольжения данным методом, а также разработана компьютерная программа в MatLab, которая определяет точки сдвига грунта по каждой строке элементарных площадок и строит экспериментальные линии скольжения, проходящие через кромки анкера. Результаты экспериментов и методика их применения отражены в работе [4].

Опыты проводили по заранее разработанному плану. Варьируемым фактором являлась относительная глубина заложения анкера (отношение глубины заложения к диаметру анкера). Уровни варьирования относительной глубины: 2, 4 и 6. В каждой серии на модели проводили по 6 опытов.

Для опытов использовали предварительно просеянный через сито грунт с фракцией 0,25...0,50 мм. Угол естественного откоса грунта составлял 29°. После закладки анкера на требуемую глубину производили послойную засыпку грунтом. Через боковую прозрачную стенку фотографировали перемещение грунта и анкера. Маркерами служили сами частицы грунта. Расположение фотоаппарата в каждом опыте оставалось постоянным. Для снижения искажений при выполнении съемки камеру целесообразно устанавливать на штативе перпендикулярно плоскости съемки, совмещая оптическую ось объектива с центром снимаемого изображения.

При расчете скорости перемещения точек изображение предварительно форматировали до размера 1024 × 800 пикселей (рис. 1). Далее рассчитывали масштаб для пересчета перемещения точки из пикселей в линейный размер.

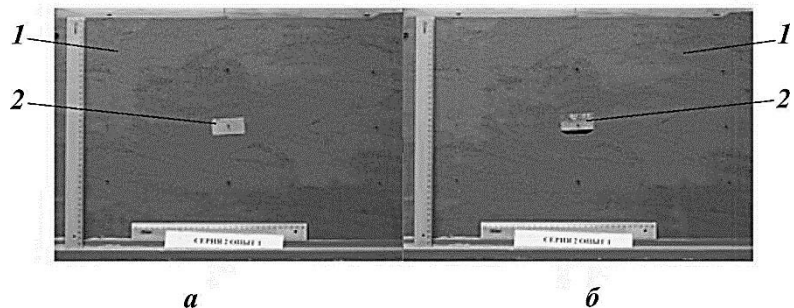
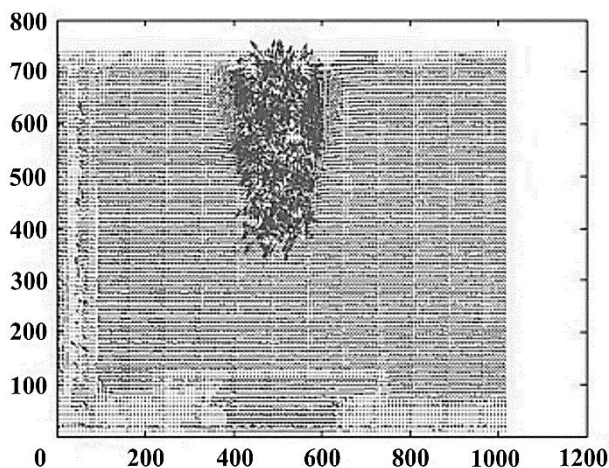


Рис. 1. Схема расположения анкера: *а* – до сдвига, *б* – после сдвига;  
1 – грунт, 2 – анкер

Рис. 2. Векторное поле скоростей



Для этого на снимаемый объект помещали масштабную линейку. В этом случае можно довольно просто пересчитать количество пикселей в линейный размер, а зная линейное перемещение точки и время, рассчитать действительную скорость перемещения точки.

Программный модуль MatPIV выдает поле с мгновенными векторами скоростей (в пикселях) перемещения частиц грунта (рис. 2). Линии скольжения будут проходить там, где отмечено наибольшее перемещение частиц грунта относительно друг друга (наблюдается наибольший скачок скоростей в каждой горизонтальной пиксельной линии).

Теоретические линии скольжения рассчитываются по методу квазипотенциального моделирования механических характеристик работы анкера в грунтовом массиве [2]. Суть метода заключается в следующем. Напряженное состояние анкера моделируется потенциальным потоком типа пространственный «источник», действие грунтового массива – «поступательным потоком», который умножается на переменный множитель, моделирующий гидростатическое распределение давления грунтового массива. Данный поток является квазипотенциальным. Линии (поверхности) скольжения грунтовых призм образуются в состоянии предельного равновесия системы при начальном сдвиге анкера и проходят через его кромки. Напряжения отнесены к весу столба грунта, находящегося над анкером, и являются безразмерными величинами. Координаты, отнесенные к диаметру анкера, также безразмерные.

Безразмерные осевые составляющие поля напряжений источника определены по следующим формулам:

$$\sigma_{1x}^+ = \frac{\sigma_0^+ b_0 x}{(x^2 + y^2) \sqrt{x^2 + y^2}}; \quad \sigma_{1y}^+ = \frac{\sigma_0^+ b_0 y}{(x^2 + y^2) \sqrt{x^2 + y^2}},$$

где  $\sigma_0^+$  – безразмерная интенсивность «источника»;

$b_0$  – масштабная единица анкера;

$x, y$  – соответственно координаты по осям  $x$  и  $y$ .

Напряжения от веса грунта в безразмерном виде

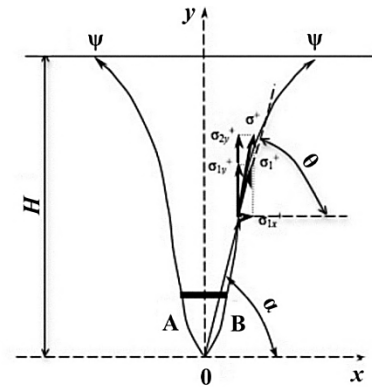
$$\sigma_{2x}^+ = 0; \quad \sigma_{2y}^+ = \frac{H_p - y}{H},$$

где  $H_p$  – глубина погружения мнимого полюса – источника;  
 $H$  – см. рис. 3.

Линии скольжения полученных криволинейных призм определяются положением результирующих линий тока  $\Psi$  суммарного поля. Они проходят через соответствующие кромки анкера. Функции силовых линий нельзя выразить явно посредством алгебраического сложения полей. Поэтому форму  $\Psi$  следует определять с помощью специальной подпрограммы поиска линий скольжения на основе векторной суммы напряжений:

$$\vec{\sigma}^+ = \vec{\sigma}_1^+ + \vec{\sigma}_2^+.$$

Рис. 3. Схема напряжений при построении силовых линий скольжения грунтовой призмы в квазипотенциальном поле



Направление  $\vec{\sigma}^+$  соответствует углу наклона  $\theta$  касательной к  $\Psi$  в каждой точке, тангенс которого определяют по схеме (рис. 3) и приведенной ниже формуле:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{\sigma_{1y}^+ + \sigma_{2y}^+}{\sigma_{1x}^+}.$$

Построение линий скольжения в квазипотенциальной среде выполняют с помощью последовательных элементарных приращений  $\Delta x$  или  $\Delta y$ , начиная от точек A и B, по следующим формулам:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x \operatorname{tg}\theta \quad \text{или} \quad y_{i+1} = y_i + \frac{\Delta y}{\operatorname{tg}\theta}.$$

Построение заканчивают при условии  $y_i = H$ . Форма расчетной криволинейной призмы зависит от различных входных параметров: относительной глубины заложения центра анкера  $H^+ = H/d$  (где  $d$  – диаметр анкера), а также от угла внутреннего трения  $\varphi$ . Теоретические призмы скольжения, например для  $\varphi = 29^\circ$ , при различных глубинах заложения анкера показаны на рис. 4. Они выполнены в относительных координатах  $x^+ = x/d$ ,  $y^+ = y/d$ , приведенных к центру рабочей плоскости анкера.

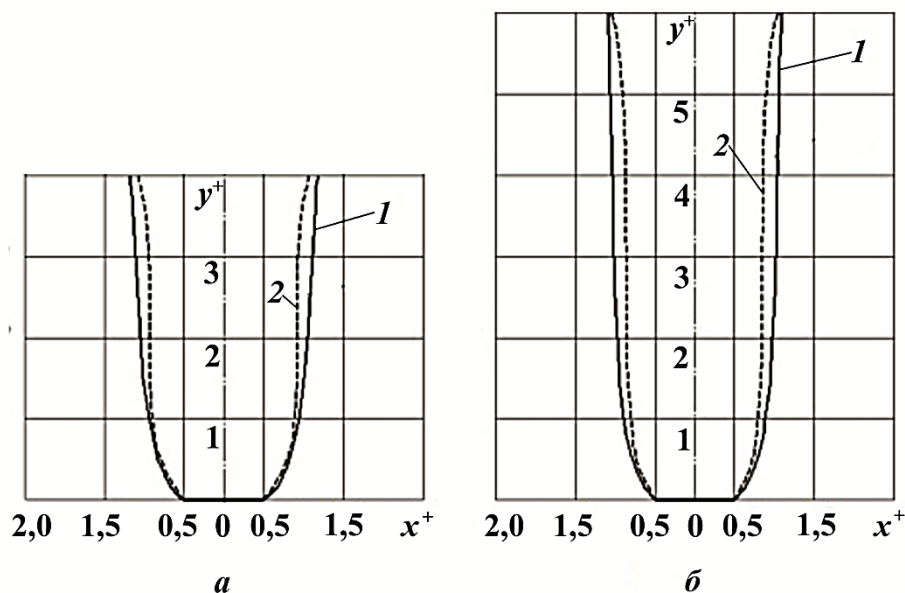


Рис. 4. Теоретические (1) и экспериментальные (2) формы призм скольжения при  $\varphi = 29^\circ$ : а –  $H^+ = 4$ ; б –  $H^+ = 6$

Пунктиром показаны линии скольжения, полученные экспериментально. Теоретические линии скольжения удовлетворительно совпадают с экспериментальными. Коэффициент корреляции равен 0,912, среднее отклонение – 10,07 %, что для механики грунтов является достаточным соответствием.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн М.Н., Кушнер С.Г., Шевченко Р.И. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. К.: Будивельник, 1977. 208 с.
2. Вихарев А.Н. Расчет формы призмы выпирания грунта при вертикальном сдвиге анкера круглой формы методом квазипотенциального моделирования // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. ф-та природных ресурсов АГТУ. Вып. 4. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2010. С. 80–86.
3. Первое фотографическое исследование процесса разрушения грунта под фундаментом // Геореконструкция фундаментпроект. Режим доступа на официальный сайт компании: <http://www.georec.spb.ru/journals/07/files/pdf/0407013.pdf>
4. Регистрация форм грунтовых призм, образующихся перед анкером при его сдвиге с помощью MATRIV / А.Н. Вихарев, А.Л. Попов, А.А. Емельянов, В.Л. Рымашевский // Наука – Северному региону: сб. материалов науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных, инженерно-технических работников и аспирантов по итогам работ за 2010 год. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2011. С. 22–22.
5. Руководство пользования программой ActualFlow. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2007. 165 с.

6. Сайт университета г. Осло. Режим доступа: <http://folk.uio.no/jks/matpiv>.

7. *Rune W. Time*. Two-Phase Flow in Pipelines – Course Compendium with Matlab Examples and Problems. Department of Petroleum Engineering, Faculty of Science and Technology, University of Stavanger, January 2007. 172 p.

Поступила 10.12.12

**A.L. Popov**

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

### **Results of Research on Bulging Prisms of Vertically Loaded Floating Ground Anchors**

Reliable and trouble-free operation of bearings depends not only on their design, but also on the method of calculating their holding power. The existing techniques for determining carrying capacity are based on a predetermined form of ground prism that is formed before the anchor bearing at its displacement. It is therefore very important to determine the exact shape of slip lines.

At present, methods based on electronic image processing are finding ever-widening application. Particle Image Velocimetry (PIV) allows us to process images produced by video filming and photography.

The method of determining the form of soil slip lines using MatPIV was tested under the guidance of A.N. Vykharev in the laboratory of the Department of Waterborne Timber Traffic and Hydraulics (NArFU) in the groundwater basin with a transparent side panel. As a result, we established a possibility in principle to record forms of slip lines using this method and developed a computer program in MatLab, which determines the points of soil displacement for each row of elementary areas and constructs experimental slip lines passing through the edges of the anchor.

Using the obtained relationships we constructed theoretical slip lines and carried out a comparative analysis.

The experiments were performed according to a predetermined plan. The relative depth of the anchor (the ratio of depth of the anchor to diameter) was the varying factor. Varying levels of relative depth: 2, 4 and 6. In each series we conducted 6 model-based experiments.

Calculation of theoretical slip lines was done using the method of quasipotential modelling of the mechanical characteristics of the anchor operating in the soil mass.

The theoretical slip lines satisfactorily coincide with the experimental ones. The correlation coefficient is 0.912, the mean deviation being 10.07 %, which is a sufficient correspondence for soil mechanics.

The use of PIV allows us to standardize and automate the process of recording the forms of slip lines.

*Keywords:* waterborne timber traffic, anchor, slip lines, PIV method, quasipotential model.



УДК 630\*378

**С.В. Самсонов, В.А. Барабанов**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Самсонов Сергей Владимирович родился в 1980 г., окончил в 2004 г. «Севмашвуз» филиал С.-Петербургского государственного морского технического университета, старший преподаватель кафедры проектирования подъемно-транспортного и технологического оборудования Института судостроения и морской арктической техники Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 1 печатную работу в области совершенствования водного транспорта леса и взаимодействия тел с жидкостью.

E-mail: samson-1980@yandex.ru

Барабанов Виктор Александрович родился в 1945 г., окончил в 1967 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, зав. кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 печатных работ в области совершенствования водного транспорта леса и взаимодействия тел с жидкостью.

E-mail: v.barabanov@narfu.ru

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛАВУЧИХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Обоснованы технические параметры плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов. Представлены результаты исследования гидродинамических характеристик плавучих контейнеров.

*Ключевые слова:* лесосплав, пучок, эксперимент, гидродинамические характеристики, коэффициент сопротивления формы и трения.

В связи с запрещением молевого сплава возникли проблемы доставки лесоматериалов из отдаленных лесозаготовительных регионов на лесоперерабатывающие предприятия и занятости населения в лесозаготовительных пунктах. Доставка лесоматериалов железнодорожным и автомобильным транспортом невыгодна, так как потребует строительства железных и автомобильных дорог. Один из способов решения данной проблемы – внедрение новых технологий лесосплава по малым рекам с ограниченными глубинами на базе плавучих контейнеров.

Сотрудниками кафедры водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова предложено использовать твердые плавучие контейнеры для транспортировки лесоматериалов [7].

Внешне контейнер (рис. 1) представляет собой емкость 2 с полуцилиндрическими (возможные варианты – с трапециевидными или треугольными)

бортами 5. Обшивка контейнера выполнена из судовой стали, сверху он имеет трюмный люк 6, который может закрываться жесткой герметичной крышкой 3 (в облегченном варианте – поливиниловым тентом), сдвигающейся по направляющим 4. Загрузка и разгрузка контейнера происходит через люк. Выгружать контейнер из воды можно краном, для этого предусмотрены рамы 1.

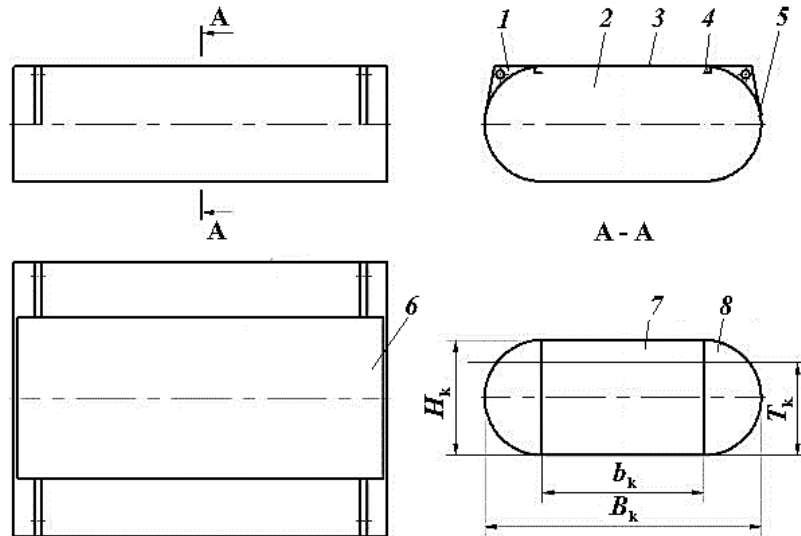


Рис. 1. Общий вид плавучего контейнера ( $H_k$ ,  $T_k$ ,  $b_k$  и  $B_k$  – соответственно высота, осадка, ширина грузовой части и ширина контейнера): 1 – рьма; 2 – корбка; 3 – крышка; 4 – направляющие; 5 – борт; 6 – люк; 7 – грузовая часть; 8 – полости

Внутреннее пространство контейнера при помощи перегородок разделено на грузовую часть 7 и внутренние (изолированные от грузовой части и водонепроницаемые) полости 8, образуемые бортами. В этих полостях размещается система набора.

Такая форма контейнера имеет ряд преимуществ.

1. Простота изготовления, небольшое количество деталей и сварных швов.
2. Плавные обводы при достаточно небольшой трудоемкости изготовления, что положительно скажется на обтекаемости контейнера водой.

3. Наличие боковых, не заполненных грузом полостей позволит разместить в них ребра жесткости, что повысит его жесткость и прочность и позволит выгружать контейнер вместе с грузом на берег, причал, палубу судна и т. д. Его можно будет эксплуатировать при наличии льда (увеличение сроков навигации), что особенно важно для мелководных рек.

4. При минимальной осадке (например, при движении контейнера в порожнем состоянии) у контейнера уменьшается ширина погруженной части, а значит, и коэффициент сопротивления формы, что приведет к снижению затрат на его транспортировку.

Разработаны контейнеры грузоподъемностью 5, 10, 15, 20 и 25 т при длине  $L_k = 6,5$  м. Параметры  $B_k, H_k, b_k, T_k$  и приближенная масса  $m_k$  контейнеров при полной загрузке в зависимости от грузоподъемности  $Q$  представлены в табл. 1. При определении размеров контейнеров исходили из среднего диаметра бревна  $d_{cp} = 0,18$  м [8], его длины  $l_{cp} = 6$  м и плотности древесины  $\rho_{др} = 900$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

$Q, \text{ т}$	$V_{гр}, \text{ м}^3$	$m_k, \text{ т}$	$B_k$	$H_k$	$T_k$	$b_k$
			м			
5	5,56	1,2	2,3	0,7	0,44	1,6
10	11,11	2,1	3,2	1,0	0,62	2,2
15	16,67	3,9	3,7	1,6	0,86	2,1
20	22,22	4,6	4,3	1,8	0,96	2,5
25	27,78	6,5	4,8	2,0	1,10	2,8

Размеры контейнера подбирали следующим образом.

Объем груза в контейнере при его заданной грузоподъемности  $Q$ :

$$V_{гр} = \frac{Q}{\rho_{др}}. \quad (1)$$

Объем одного бревна

$$V_6 = \frac{\pi d_{cp}^4}{4} l_{cp}. \quad (2)$$

Число бревен, которое должно поместиться в контейнере:

$$N_6 = \frac{V_{гр}}{V_6}. \quad (3)$$

Подставив (1) и (2) в (3), получим

$$N_6 = \frac{4Q}{\pi \rho_{др} d_{cp}^2 l_{cp}}. \quad (4)$$

Далее, исходя из требования обеспечения минимальной осадки, подбирали габаритные размеры контейнера.

Сравним осадку пучка и контейнера при одинаковой массе и объеме перевозимых лесоматериалов.

Объем пучка как эллиптического цилиндра [1]:

$$V_{п} = 0,785bHl_{cp}\rho, \quad (5)$$

где  $b, H$  – ширина и высота поперечного сечения пучка;

$\rho$  – коэффициент полнодревесности пучка, зависящий от диаметра бревен,  $\rho = 0,56 \dots 0,70$  [1].

Отношение осей поперечного сечения пучка

$$C = \frac{b}{H}. \quad (6)$$

Здесь для речных условий  $C \leq 3$  [1].

Высота пучка

$$H = \frac{T}{\gamma'_d k}, \quad (7)$$

где  $T$  – осадка пучка;

$\gamma'_d$  – относительный объемный вес древесины,  $\gamma'_d = 0,9$  [1];

$k$  – коэффициент,  $k = 0,93 \dots 0,95$  [1].

Из выражений (5), (6) и (7) получим

$$H = \frac{V_n}{0,785 b l_{cp} \rho}; \quad (8)$$

$$b = CH; \quad (9)$$

$$T = \gamma'_d k H. \quad (10)$$

Подставим (9) в (8) и проведем вычисления:

$$H = \sqrt{\frac{V_n}{0,785 C l_{cp} \rho}}. \quad (11)$$

Тогда, после подстановки (11) в (10), окончательно имеем

$$T = \gamma'_d k \sqrt{\frac{V_n}{0,785 C l_{cp} \rho}}. \quad (12)$$

В табл. 2 приведены результаты расчетов по формуле (12) для пучков перевозимых лесоматериалов с массой до 25 т (при  $k = 0,94$ ,  $C = 2,25$ ,  $\rho = 0,65$ ,  $\gamma'_d = 0,9$ ).

Таблица 2

$Q$ , т	$T$ , м	$T_k$ , м	$\frac{T - T_k}{T} 100$ , %
5	0,76	0,44	42
10	1,07	0,62	42
15	1,32	0,86	35
20	1,52	0,96	37
25	1,70	1,10	35

Таким образом, осадка контейнера при одинаковых объеме и массе перевозимых лесоматериалов меньше осадки пучка на 35...42 %.

Для широкого внедрения новых технологий лесосплава по малым рекам с ограниченными глубинами на базе плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов необходимо изучить их гидродинамические характеристики.

Нами была разработана методика проведения экспериментальных исследований гидродинамических характеристик плавучих контейнеров [9].

В качестве экспериментального образца использована модель контейнера грузоподъемностью  $Q = 25$  т (рис. 2), изготовленного из оцинкованной стали.

Рис. 2. Модель плавучего контейнера



Моделирование выполнено по критерию подобия Фруда ( $Fr$ ) в области квадратичной турбулентности. В этих условиях коэффициенты сопротивления практически не зависят от числа Рейнольдса ( $Re = 5,87 \cdot 10^4 \dots 3,53 \cdot 10^5$ ,  $Fr = 0,08 \dots 0,33$ ). В соответствии с рекомендациями [4] основной масштаб моделирования принят 1 : 20.

Эксперимент проведен в бассейне кафедры водного транспорта леса и гидравлики САФУ. Ширина бассейна 3 м, длина 14 м, глубина 0,35 м. Ширина бассейна обеспечивала неограниченность потока. Отношение глубины бассейна к осадке моделей составляло 5,91...15,47. Данные условия не считаются проблемными, так как контейнеры предполагается эксплуатировать на реках с малыми глубинами.

Испытывались также составы из двух контейнеров по схемам счала 1+1 [2].

Буксировку моделей выполняли со скоростями, соответствующими натурным: от 0,89 до 2,68 м/с. Для каждого значения скорости, определяемой параметрами буксируемого груза, опыт повторяли 5 раз в серии, согласно рекомендациям [4–6]. Всего по установившемуся движению обработано 16 серий замеров (или 80 опытов). Статистики опытов варьировали в следующих пределах: среднее квадратичное отклонение 0,0038...0,0092 м/с; коэффициент вариации 0,80...3,01; средняя ошибка среднего арифметического 0,0014...0,0041 м/с; показатель точности 0,36...1,35 %.

Воспроизводимость опытов, оцененная по критерию Кохрена, позволила сделать вывод о достаточно высокой точности измерений.

В опытах использовали метод планирования эксперимента с получением уравнения регрессии и классическую методику с получением теоретических зависимостей. Многофакторный эксперимент выполнен в целях изучения качественного и количественного влияния факторов на сопротивление воды движению моделей. В качестве основных факторов, влияющих на гидродинамическое сопротивление воды движению модели контейнера, приняты: отношение осадки к ширине модели, длина модели, скорость движения модели, коэффициенты

сопротивления, плотность воды. Плотность воды – величина постоянная, не являющаяся управляющим фактором.

Скорость движения определяет гидродинамическое сопротивление воды:

$$R = rv^2, \quad (13)$$

где  $r$  – приведенное сопротивление воды движению модели контейнера;

$v$  – скорость движения.

Получив экспериментальным путем зависимости для определения приведенного сопротивления  $r$ , можно по выражению (13) найти гидродинамическое сопротивление. Поэтому за выходной параметр уравнения регрессии принято приведенное гидродинамическое сопротивление моделей контейнеров, за выходные управляющие факторы:  $X_1$  – длина,  $X_2$  – отношение осадки к ширине модели,  $X_3$  – скорость. Параметры испытанных моделей контейнеров приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ модели контейнера	L, м		$\psi = T_g/B_k$		v, м/с	
	$X_1$	$x_1$	$X_2$	$x_2$	$X_3$	$x_3$
1	0,335	-1	0,094	-1	0,2	-1
2	0,670	1	0,094	-1	0,2	-1
3	0,335	-1	0,226	1	0,2	-1
4	0,335	-1	0,094	-1	0,6	1
5	0,335	-1	0,226	1	0,6	1
6	0,670	1	0,226	1	0,2	-1
7	0,670	1	0,094	-1	0,6	1
8	0,670	1	0,226	1	0,6	1

Уравнение регрессии после обработки экспериментальных данных и расчета коэффициентов регрессии принимает следующий вид:

$$r = 4,861 - 0,438x_1 + 2,184x_2 + 0,899x_3 - 0,205x_1x_2 - 0,438x_1x_3 + 0,472x_2x_3 - 0,205x_1x_2x_3. \quad (14)$$

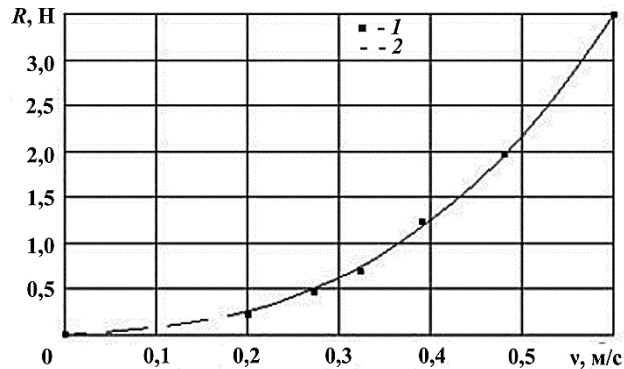
Это уравнение проверено на адекватность экспериментальным данным с помощью критерия Фишера. По знаку и величине его коэффициентов оценено воздействие соответствующих факторов на выходной параметр. Результаты, полученные при математическом планировании эксперимента, использованы при планировании и проведении опытов по классическому эксперименту.

По результатам исследований для каждой модели построена кривая зависимости усилия буксировки ( $R_x$ ) от скорости (средней) равномерного движения модели  $v$ . Такая зависимость для модели контейнера № 3 (табл. 3) представлена на рис. 3.

Опыты выполнены по числу Рейнольдса в квадратичной зоне сопротивления, для которой справедлив квадратичный закон сопротивления. Это подтверждается аналогичными исследованиями [4, 5]. Для каждого графика методом наименьших квадратов отклонений подобрана теоретическая кривая вида

$$R = av^2 + bv^4. \quad (15)$$

Рис. 3. Связь между усилием буксировки  $R$  и скоростью  $v$  равномерного движения модели контейнера № 3 (1) и подобранная теоретическая зависимость вида  $R = 6,11v^2 + 10,13v^4$  (2)



Гидродинамическое сопротивление воды равномерному движению плавучего контейнера по классической формуле Ньютона [4–6, 10–12]

$$R = \zeta \frac{\rho}{2} \Omega v^2, \quad (16)$$

где  $\zeta$  – общий безразмерный коэффициент сопротивления движению;

$\rho$  – плотность воды;

$\Omega$  – площадь миделевого сечения модели контейнера;

$v$  – скорость движения контейнера.

Полное сопротивление воды равномерному движению тела

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}} + R_{\text{волн}}, \quad (17)$$

где  $R_{\text{тр}}$  – сопротивление трения;

$R_{\text{ф}}$  – сопротивление формы;

$R_{\text{волн}}$  – волновое сопротивление.

Исследования показали, что волновое сопротивление начинает проявляться в общем балансе сопротивления при числе  $Fr = 0,14 \dots 0,16$  [3] для судов с полными обводами, к которым можно отнести плавучие контейнеры.

Две последние составляющие, часто объединяют в остаточное сопротивление:

$$R_{\text{ост}} = R_{\text{ф}} + R_{\text{волн}}. \quad (18)$$

С учетом этого полное сопротивление может быть представлено как

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ост}}. \quad (19)$$

Тогда

$$R_{\text{ост}} = R - R_{\text{тр}}. \quad (20)$$

Коэффициент сопротивления формы

$$\zeta_{\text{ф}} = \frac{2R_{\text{ост}}}{\rho \Omega v^2}. \quad (21)$$

Сопротивление трения для моделей вычисляли по формуле

$$R_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{\rho}{2} S v^2,$$

где  $\zeta_{тр}$  – коэффициент сопротивления трения от общей шероховатости модели;  
 $S$  – площадь смоченной поверхности модели.

Зависимость коэффициента трения от относительной шероховатости, согласно работам Л. Прандтля и Г. Шлихтинга [11], может быть представлена следующей интерполяционной формулой:

$$\zeta_{тр} \left( 1,89 + 1,62 \lg \frac{l}{k_s} \right)^{-2,5},$$

где  $l$  – характерный размер (для данного случая – длина модели);

$k_s$  – эквивалентная «песочная» шероховатость, для листа оцинкованного железа  $k_s = 6,7 \cdot 10^{-5}$  м.

Для подтверждения отсутствия масштабного эффекта проведена проверка результатов исследования на модели плавучего контейнера размерами  $L_k \times B_k \times H_k = 0,65 \times 0,49 \times 0,2$  м в масштабе 1 : 20.

Перед нами стояла цель – определить коэффициент сопротивления формы модели плавучего контейнера в масштабе 1 : 10 и сравнить его с коэффициентом сопротивления формы модели плавучего контейнера в масштабе 1 : 20.

Значения коэффициента сопротивления формы, вычисленные по зависимости (14) при  $v = 0,2$  м/с и  $L_k = 0,335$  м, представлены на рис. 4.

Чтобы оценить, адекватно ли зависимость (14) отображает результаты исследований в масштабе 1 : 10, определяли критерий Фишера для  $f_{ад} = 10$  и  $f = 10$  и уровня значимости  $q = 0,05$ . Значения статистических оценок составили: дисперсия воспроизводимости опытных значений – 0,03786; дисперсия адекватности – 0,00145;  $F_{расч} = 0,0383$ ;  $F_{табл} = 2,98$ .

Так как  $F_{расч} < F_{табл}$ , принята гипотеза об однородности дисперсий, а значит, и адекватности зависимости (14) коэффициентам сопротивления формы, вычисленным по результатам исследований модели в масштабе 1 : 10.

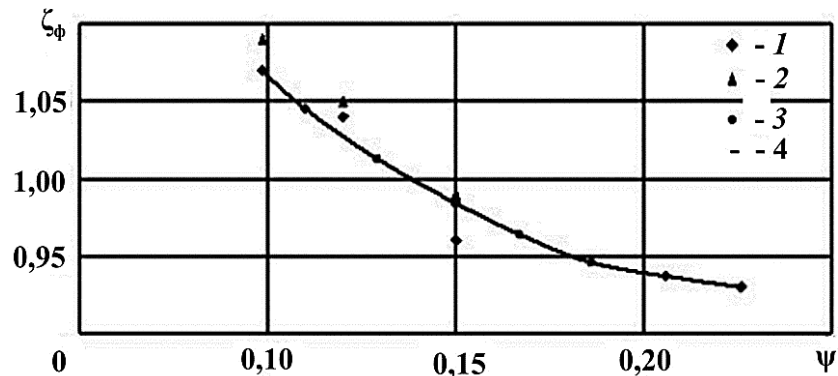


Рис. 4. Зависимость коэффициента сопротивления формы  $\zeta_{ф}$  от  $\psi = T_k/B_k$ : 1, 2 – результаты экспериментальных исследований на моделях в масштабах 1 : 20 и 1 : 10; 3 – точки, полученные при помощи зависимостей (15) и (21); 4 – расчетная кривая, полученная по формуле (15)



Как видно из рис. 4, коэффициенты сопротивления формы для моделей в масштабе 1 : 20 и 1 : 10 хорошо согласуются между собой и уравнением регрессии, что и подтверждает отсутствие масштабного эффекта. Значит зависимость (14) может быть использована для расчета сопротивления формы плавучих контейнеров, длина которых изменяется в интервале  $L_k = 6,5 \dots 13$  м, при скоростях буксировки  $v = 0,89 \dots 2,68$  м/с и отношении осадки к ширине контейнера  $\psi = T_k/B_k = 0,094 \dots 0,226$ .

Полученные результаты исследований в дальнейшем будут использованы при разработке новых технологий лесосплава по рекам с ограниченными глубинами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыка С.Х., Манухин Г.А., Пименов А.Н. Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ: учеб. пособие. Минск: Высш. шк., 1970. 400 с.
2. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов: учеб. 2-е изд., доп. и перераб. Л.: Судостроение, 1988. 288 с.
3. Карпачев В.П. Транспорт леса. Теоретические основы водного транспорта леса: учеб. пособие для вузов. Красноярск: КГТА, 2009. 254 с.
4. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 492 с.
5. Митрофанов А.А. Научное обоснование и разработка экологически безопасного плотового лесосплава. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. 268 с.
6. Мурашова О.В., Митрофанов А.А. Исследования гидродинамических характеристик плоских сплотовых единиц на моделях и в натуральных условиях // Лесн. журн. 2007. № 1. С. 45–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Пат. 119332 РФ, МПК В65D 88/12. Контейнер / Суров В.Я., Барабанов В.А., Самсонов С.В.; заявитель и патентообладатель САФУ. № 2012114041/12; заявл. 10.04.2012; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23. 3 с.
8. Результаты деятельности ОАО «Соломбальский ЛДК» за 2007 г. Режим доступа: [solombala.com/info/sldk/2007/getfile.php?file=godotch\\_doc](http://solombala.com/info/sldk/2007/getfile.php?file=godotch_doc)
9. Самсонов С.В., Барабанов В.А. Исследование гидродинамических характеристик плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов // Арктический вектор развития России / к 299-летию ученого: Сб. докл. XXXIX Ломоносовских чтений. Северодвинск: Региональное отделение Союза машиностроителей России, филиал «Севмашвтуз» ГОУ ВПО СПбГМТУ, Северодвинское отделение Ломоносовского фонда, ГРЦАС, 2010. С. 131–135.
10. Федяевский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И. Гидромеханика: учеб. Л.: Судостроение, 1968. 568 с.
11. Худогов В.Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1966. 225 с.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Пер. с нем. М.: Наука, 1969. 742 с.

Поступила 19.12.12

*S.V. Samsonov, V.A. Barabanov*

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

**Validation of Technical Parameters of Floating Containers for Timber Transportation and Results of the Study of their Hydrodynamic Properties**

Technical parameters of floating containers for timber transportation are validated. The results of the study of their hydrodynamic characteristics are presented.

*Keywords:* rafting, bundle, hydrodynamic characteristics, friction resistance and drag coefficient

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.812

*А.Н. Чубинский, Г.С. Варанкина*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Чубинский Анатолий Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии деревообрабатывающих производств С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет более 200 научных трудов в области технологии склеивания древесины.

E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com

Варанкина Галина Степановна в 1980 г. окончила Ленинградскую государственную лесотехническую академию имени С.М. Кирова, кандидат технических наук, доцент, кафедры технологии лесопиления и сушки древесины С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. Имеет около 90 печатных работ в области снижения токсичности плитных материалов и разработки клеевых композиций.

E-mail: varagalina@yandex.ru

### **ФОРМИРОВАНИЕ НИЗКОТОКСИЧНЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛЕЕВ**

Исследовано влияние реакционноспособного наполнителя на физико-механические показатели древесностружечных плит (ДСтП) и содержание свободного формальдегида в плитных материалах. Для этих целей использовали образцы ДСтП на основе карбамидоформальдегидного связующего, наиболее часто применяемого в производстве.

На интенсивность выделения формальдегида из готовых плит оказывают влияние следующие факторы: свойства применяемой смолы (в первую очередь содержание в ней свободного формальдегида), количество добавляемого связующего, условия прессования плит (влажность осмоленной стружки, температура и продолжительность прессования), условия эксплуатации плит или изделий из них, вид облицовки плоскостей.

В данной работе снижение токсичности плит достигнуто за счет химического взаимодействия нового вида наполнителя – алюмосиликатов и адсорбцией находящихся в смолах ароматических углеводов (спиртов, альдегидов, кислот, формальдегида и др.).

Прочность ДСтП при статическом изгибе повышается за счет возрастания степени структурирования полимера, увеличения молекулярной массы и когезионной прочности, а также за счет реакции взаимодействия с компонентами древесины. Используя методы поиска оптимальных значений переменных факторов и соответствующих им показателей эффективности определены конкретные значения исследуемых параметров режима.

*Ключевые слова:* древесностружечная плита, карбамидоформальдегидная смола, модификатор, алюмосиликаты.

---

© Чубинский А. Н., Варанкина Г.С., 2013

В настоящее время к санитарной характеристике древесных материалов, применяемых в производстве мебели, предъявляют все более жесткие требования, в первую очередь, по эмиссии формальдегида. Выпускаемые в стране плиты классов E1 и E2 существенно уступают производимым за рубежом плитам Super E.

Повышение конкурентоспособности отечественных ДСтП невозможно без существенного повышения безопасности их эксплуатации.

Одним из возможных путей снижения эмиссии формальдегида из древесных плит является использование модифицированных связующих [1–6]. Поиск эффективных модификаторов для карбамидо- и фенолоформальдегидных клеев занимают как отечественные, так и зарубежные исследователи и производители связующих. Исследования, выполненные в С.-Петербургском государственном лесотехническом университете и Братском государственном техническом университете, показали высокую способность природных алюмосиликатов к улучшению технологических и эксплуатационных свойств традиционно используемых в деревообрабатывающей промышленности клеев.

#### *Методика проведения экспериментов*

Исходные компоненты (модификатор – алюмосиликат и клеевые композиции) исследовали с применением химического, рентгеноструктурного, спектрального и электронно-микроскопического методов. Алюмосиликаты имеют кремнеалюмоокислородный каркас, содержащий свободные полости, в которые могут проникать молекулы формальдегида [2, 4].

Показатели физико-химических свойств карбамидоформальдегидных смол марки КФ-МТ-15 и ДСтП на их основе определяли в соответствии с действующими стандартами: содержание свободного формальдегида в клее после введения модификатора в карбамидоформальдегидную смолу – сульфитным методом, содержание формальдегида в ДСтП – перфораторным методом и с использованием газового анализатора. Характер отверждения плит контролировали спектрофотометром Spesord.

Для проведения экспериментов использовали ДСтП толщиной 16 мм, плотностью 730...750 кг/м<sup>3</sup>. Размеры образцов составляли 500 × 500 мм и были обусловлены техническими возможностями лабораторного прессового оборудования.

#### *Результаты исследований и анализ*

В ходе экспериментов установлено, что физико-химические свойства модифицированных смол и изготовленных с их применением ДСтП зависят от количества и дисперсности введенного алюмосиликата.

Для определения влияния количества модификатора и его дисперсности на технологические параметры клеевых композиций изучены: продолжительность желатинизации, разбухание, водопоглощение ДСтП, прочность на раз-

рыв перпендикулярно пласти и на статический изгиб, содержание свободного формальдегида.

Результаты эксперимента (рис. 1) показывают, что продолжительность желатинизации с введением модификатора сокращается. Ускорение процесса желатинизации обусловлено способностью алюмосиликатов вступать в химическое взаимодействие со свободным формальдегидом, метилольными и амидными группами карбамидного олигомера.

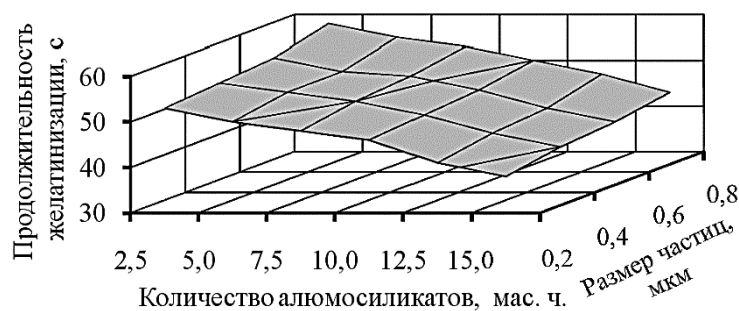


Рис. 1. Зависимость продолжительности желатинизации модифицированного клея на основе смолы КФ-МТ-15 от количества и размера частиц алюмосиликатов

Введение алюмосиликатов оказывает существенное влияние на разбухание и водопоглощение ДСтП (рис. 2).

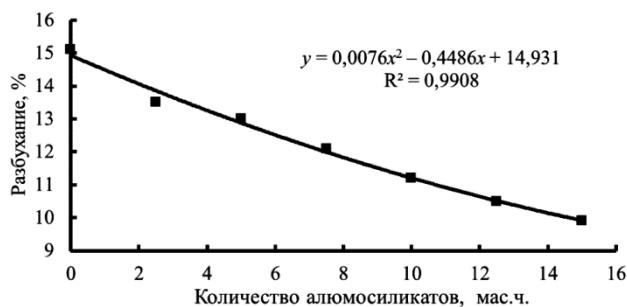
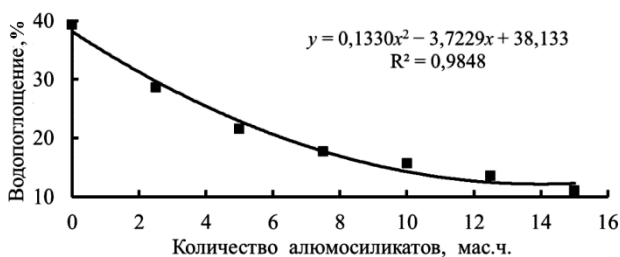
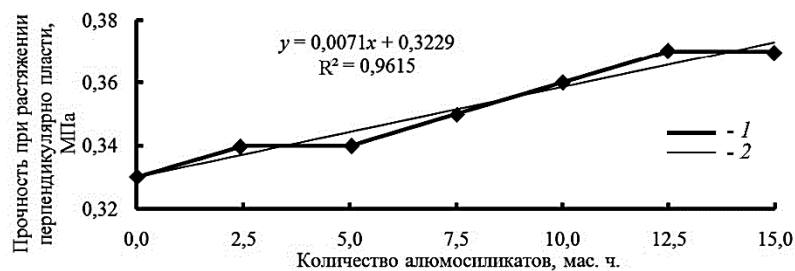


Рис. 2. Зависимость разбухания (а) и водопоглощения (б) ДСтП от количества алюмосиликатов

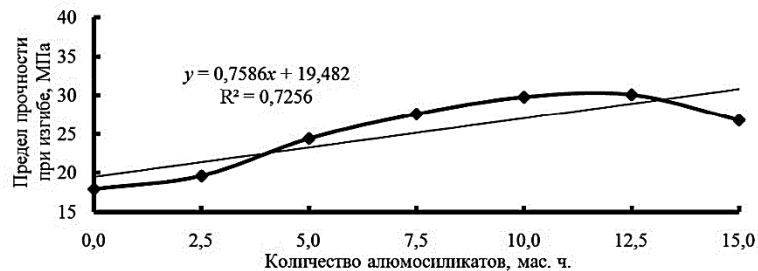


Из результатов эксперимента видно, что с введением алюмосиликатов разбухание и водопоглощение ДСтП снижаются на 30 %, что приводит к повышению водостойкости плит, а значит, к некоторому увеличению прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты (рис. 3, а).

Увеличение прочности ДСтП при растяжении перпендикулярно пласти (рис. 3, а) и при изгибе (рис. 3, б) является результатом возрастания степени структурирования модифицированного клея, повышения его когезионной прочности, а также степени химического взаимодействия клея и древесины.



а



б

Рис. 3. Зависимость прочности при растяжении перпендикулярно пласти плиты (а) и предела прочности при статическом изгибе (б) от количества алюмосиликатов в смоле: 1 – эксперимент, 2 – расчет

В ходе экспериментов также было выявлено снижение эмиссии формальдегида из ДСтП, склеенных модифицированным алюмосиликатами карбамидоформальдегидным клеем (рис. 4).

Снижение токсичности плит достигается за счет химического взаимодействия алюмосиликатов с карбамидоформальдегидным клеем и адсорбции находящихся в смолах ароматических углеводов (фенолов, спиртов, альдегидов, кислот, формальдегида и др.) [1].

На основе результатов частных экспериментов обоснованы переменные факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики ДСтП. Уровни их варьирования в многофакторном эксперименте приведены в таблице.

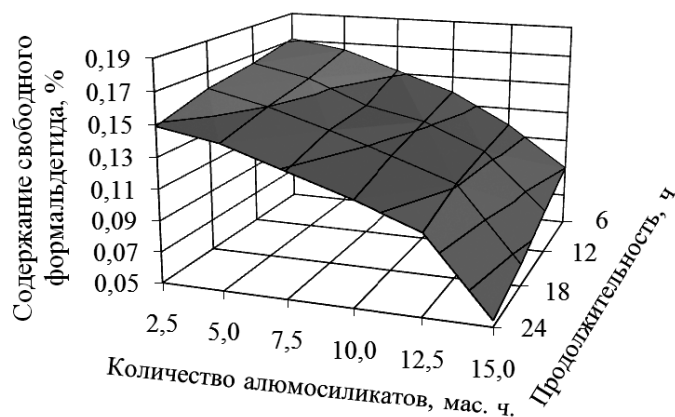


Рис. 4. Зависимость содержания свободного формальдегида смолы КФ-МТ-15 от количества алюмосиликатов и продолжительности выдержки клея после их введения

#### Переменные факторы и уровни их варьирования

Фактор	Уровни варьирования		
	Нижний	Основной	Верхний
Температура склеивания $T$ , °С	190	200	220
Давление прессования $P$ , МПа	1,9	2,2	2,5
Продолжительность прессования $\tau$ , мин	3,0	4,0	5,0
Количество модификатора $q$ , мас.ч.	2,5	7,5	15,0
Размер частиц модификатора $d$ , мкм	0,2	0,5	0,8

В результате обработки данных многофакторного эксперимента получены уравнение связи

$$\delta = 0,11563 - 0,0022q + 0,00259P - 0,0004T - 0,005\tau + 0,12481d$$

и уровни варьирования переменных факторов:

$$190 \leq T \leq 220; 2,5 \leq P \leq 3,0; 2 \leq \tau \leq 4; 2,5 \leq q \leq 15; 0,2 \leq d \leq 0,8,$$

где  $\delta$  – содержание свободного формальдегида в готовой продукции, %.

#### Выводы

Алюмосиликаты природного происхождения являются модификаторами, обладающими способностью ускорять процесс желатинизации карбаминоформальдегидных смол и снижать содержание свободного формальдегида в ДСтП.

Благодаря введению алюмосиликатов возрастает степень структурирования полимера, снижается количество гидрофильных метилольных групп, увеличивается молекулярная масса полимера, повышаются его когезионная прочность и химическая активность во взаимодействии с компонентами древесины.

Снижение токсичности ДСтП объясняется реакционной и сорбционной способностью алюмосиликатов, увеличением степени отверждения клеевой композиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брутян К.Г. Обоснование параметров режима склеивания древесностружечных плит низкой токсичности. Первичная обработка древесины // Лесопиление и сушка пиломатериалов. Состояние и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГЛТА, 2008. С. 121–126.
2. Варанкина Г.С., Брутян К.Г. Совершенствование технологии изготовления древесностружечных плит. Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.: тр. IV Междунар. евразийского симпозиума. Екатеринбург, 2009. С. 110–113.
3. Глебов М.П., Брутян К.Г. Анализ природных минеральных модификаторов для клеящих смол. Первичная обработка древесины // Лесопиление и сушка пиломатериалов. Состояние и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГЛТА, 2007. С. 28–33.
4. Глебов М.П., Варанкина Г.С., Брутян К.Г. Наполнители для производства низкотоксичных древесностружечных плит // Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов и изделий из древесины: пиломатериалы, фанера, деревянные дома заводского изготовления, столярно-строительные изделия: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 109–113.
5. Пат. 2437911 РФ, МПК<sup>7</sup>. Клеевая композиция / Брутян К.Г., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н., Редков В.А., Кондратьев В.П. Приоритет от 1.03.2010. 3 с.
6. Чубинский А.Н., Брутян К.Г. Формирование древесно-стружечных плит пониженной токсичности // Изв. СПбГЛТА. Вып. 186. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 156–163.

Поступила 03.09.12

*A.N. Chubinsky, G.S. Varankina*

St. Petersburg State Forest Technical University number after S.M. Kirov

**Formation of Low Toxicity Particle Boards Using Modified Adhesives**

The paper studies the effect of reactive filler on the physico-mechanical properties of particle board and content of free formaldehyde in board materials. For this purpose we used samples of particle board based on urea-formaldehyde binder as the most frequently used in production.

Intensity of formaldehyde emission from the finished board depends on the following factors: properties of the resin used and, in the first place, the content of free formaldehyde in it; the amount of added binder; board pressing conditions (moisture of tarred chips, pressing temperature and duration); use conditions of boards or products made of them, and the type of surface coating.

Board toxicity is reduced due to the chemical interaction between a new type of filler – aluminosilicate – and adsorption of aromatic hydrocarbons contained in resin: alcohols, aldehydes, acids, including formaldehyde.

The strength of particle board at static bending grows due to higher degree of polymer structuring and increased molecular weight, greater cohesive strength and better reaction with wood components. Using the methods of search for optimal variable factors and corresponding efficiency indices, we determined specific values of the regime parameters under investigation.

*Keywords:* particle board, urea-formaldehyde resin, modifier, aluminosilicate.



УДК 621.931

***В.И. Малыгин, Л.В. Кремлева, Н.В. Лобанов, В.И. Мелехов***

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

E-mail: v.malygin@narfu.ru

Кремлева Людмила Викторовна окончила филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, кандидат технических наук, зав. кафедрой автоматизирования системы технической подготовки производства Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 научных работ.

E-mail: l.kremleva@narfu.ru

Лобанов Николай Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1988 г. филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортного и технологического оборудования Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 15 научных работ в области математического моделирования физических процессов резания, прикладной механики и лесопильного оборудования.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой древесиноведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, действительный член АПК, председатель диссертационного совета. Имеет более 300 научных работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования малоценной древесины и отходов деревообработки на основе новых технологий.

Тел.: (8182) 21-61-49

## **ЭВОЛЮЦИЯ ТОПОЛОГИИ СБОРНЫХ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ\***

Современное развитие деревообработки характеризуется использованием режущего инструмента сборных конструкций с неперетачиваемыми режущими элементами из инструментальных сталей и твердых сплавов. В настоящее время фирмы-производители предлагают множество конструкций сборных фрез, различающихся конструктивным исполнением, способом базирования и механического крепления ножей. При разработке и изготовлении новых конструктивных вариантов исполнения сборного деревоорежущего инструмента фирмы-производители фактически не учитывают пока-

---

\* Работа выполнена в Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова – головной исполнитель НИОКТР «Освоение высокотехнологичного мелкосерийного производства наукоемкой продукции – отечественных импорто-замещающих движительно-рулевых колонок и их компонентов для судов ледового класса» – при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 г.

© Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Мелехов В.И., 2013

затели качества инструмента и, прежде всего, показатели эксплуатационной надежности. Отсутствие комплексных инженерных методик выбора оптимальных конструкций инструмента привело к существованию нескольких подходов к определению и прогнозированию показателей надежности и ресурса сборного режущего инструмента.

Цель работы – определение основных направлений совершенствования и развития конструктивно-топологической структуры сборного дереворежущего инструмента с учетом требований его эксплуатационной надежности и технологичности.

На основе анализа существующих подходов к оценке показателей качества сборного лезвийного инструмента отмечены достоинства и недостатки эмпирических методик определения эксплуатационной надежности и ресурса инструмента, используемых фирмами-производителями.

Приведены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по совершенствованию конструкции дереворежущих фрез с учетом показателей эксплуатационной надежности, технологичности и экономичности конструкций. Совершенствование конструкций дереворежущих фрез проводилось как в направлении изменения формы режущего элемента, так и схемы их базирования в корпусе. Представлены конструктивные схемы режущих узлов фрез, математические зависимости определения основных показателей эксплуатационной надежности, а также технологические эскизы сборки и замены режущих элементов.

Установлено, что существующие методики прогнозирования эксплуатационной надежности качества сборного режущего инструмента носят вероятностный характер (это сдерживает их использование проектировщиками при создании новых конструкций). Оптимизация конструктивно-топологической структуры дереворежущего инструмента в направлении изменения схемы базирования и крепления режущих элементов в корпусе фрезы, увеличения числа ножей и формы режущего клина приводят к необходимости совершенствования комплексных расчетных методик, позволяющих оценивать показатели качества инструмента на стадии проектирования.

*Ключевые слова:* дереворежущий инструмент, надежность, ресурс, топология, оптимизация конструкции, расчетный метод.

Повышение точности и качества обработки изделий из древесины и древесных материалов при обеспечении заданного уровня производительности операций механической обработки и повышения надежности технологических систем – актуальная задача современных деревообрабатывающих производств. Одним из основных направлений обеспечения требуемого технологического уровня операций и качества обработки является использование прогрессивных и производительных конструкций дереворежущих инструментов. Современное состояние и перспективы развития деревообработки характеризуются широким использованием режущих инструментов сборных конструкций, оснащенных сменными, в том числе, и неперетачиваемыми режущими элементами из инструментальных сталей и твердых сплавов. Для обеспечения заданных параметров качества обрабатываемых поверхностей необходимо, чтобы дереворежущий инструмент обладал набором технических и технологических свойств, достаточный уровень которых обеспечит требуемые параметры и производительность обработки, а также повысит эффектив-

ность и надежность технологической системы в целом. В настоящее время фирмы-производители предлагают множество различных конструкций сборных фрез, различающихся габаритными размерами, конструктивным исполнением, способами базирования и механического крепления ножей.

Номенклатура показателей качества металло- и дереворежущего лезвийного инструмента включает в себя показатели назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, которые формируют наиболее важные эксплуатационные и экономические требования к дереворежущему инструменту. Среди этих требований показатели эксплуатационной надежности инструмента наиболее значимы. Эксплуатационная надежность – комплексный показатель режущего инструмента, существенно зависящий от его конструкции, точности и качества изготовления отдельных элементов узла механического крепления режущих элементов [8, 9]. Разнообразие современных инструментальных материалов, используемых в материалообработке, и отсутствие комплексных инженерных методик выбора оптимального конструктивного исполнения сборного режущего инструмента обусловили существование нескольких подходов к определению и прогнозированию показателей надежности сборного режущего инструмента.

Предложенная ВНИИинструмент методика оценки качества и технического уровня сборного инструмента предполагала сравнение конструкций в одинаковых условиях производственных испытаний на одном рабочем месте [12]. Такой подход, заключающийся в установлении, главным образом, периода стойкости инструмента, отличался безусловной чистотой эксперимента, но, с учетом необходимой статистической обработки, требовал большого расхода обрабатываемого материала. Например, только отраслевая лаборатория по испытаниям фрез при Белгородском заводе фрез за год переводила в стружку не менее 80 т обрабатываемого материала. При испытаниях дереворежущего инструмента, регламентированный период стойкости которого на порядок, а то и более, выше, чем у металлорежущего, технологическая трудоемкость процесса становится неприемлемой по экономическим причинам. Кроме того, этот метод, при всей объективности оценки по факту испытания готового образца, обеспечивал только сравнительную оценку и не давал рекомендаций по проектированию инструмента.

Более оперативный и менее затратный путь был предложен отраслевой лабораторией при Краматорском индустриальном институте [20]. Эта методика предлагала оценивать качество и надежность конструкции инструмента по величине ступенчато изменяющейся подачи до разрушения режущего элемента. Подобный подход также позволял давать сравнительную оценку инструментам только по одному критерию прочности и не позволял разрабатывать научно обоснованные методики выбора конструкции на стадии проектирования. Такое положение не могло устроить производителей – производителей режущего инструмента. Необходимость более оперативного решения выбора оптимальной конструкции на стадии проектирования, поиск новых

прогрессивных конструкций привели к оценке качества конструктивных решений не по эксплуатационным, а по косвенным показателям – параметрам физических процессов, протекающих в технологической системе и инструменте при резании. В свою очередь, это привело к необходимости экспериментального определения степени корреляции параметров физических полей, возникающих в технологической системе при резании, и показателей эксплуатационной надежности инструмента. В силу сложности и многофакторности протекающих физических процессов возникло несколько научных школ, основывающихся на различных показателях критериев качества инструмента и его надежности. Так, А.Д. Макаровым предложено оценивать качество по температурным показателям процесса резания [2], А.Я. Малкиным введено понятие динамического качества режущего инструмента [3]. Подход последнего основывался на экспериментально установленной корреляции стойкости и динамических показателей конструкции инструмента и позволил разработать методики неразрушающих экспресс-методов оценки статической жесткости и динамических характеристик узла крепления режущего элемента в условиях лабораторных стендовых испытаний, исключая опыты с резанием [5]. Такой подход не выводил на расчетные методики, но уже позволял исследовать влияние отдельных элементов конструкции и качества их исполнения [8, 9] и, самое главное, разрабатывать рекомендации по проектированию и технологии изготовления элементов конструкции. Данные методики и испытательные стенды были успешно апробированы в 80-е гг. прошлого столетия в совместных исследованиях Университета Дружбы народов, ВНИИинструмент и Оргприминструмент при выполнении Государственной программы 0.16.08 ГКНТ СССР по созданию инструмента с механическим креплением режущих пластин и внедрены на Белгородском заводе фрез, Харьковском, Московском и Томском инструментальных заводах, Московском станкостроительном производственном объединении «Красный пролетарий».

Аналогичные исследования в области дереворежущего инструмента позволили установить зависимость показателей качества дереворежущего инструмента от косвенных, связанных с эксплуатационными характеристиками, показателей. В частности, установлена зависимость изнашивания сменных ножей из различных инструментальных материалов сборных фрез и ножевых валов от относительной деформации режущей кромки при обработке древесины березы, разработана схема взаимосвязи эксплуатационных требований, технического обеспечения используемого оборудования и факторов обеспечения работоспособности режущих инструментов, а также схема управления параметрами, определяющими работоспособность дереворежущих инструментов [11]. Эти результаты получены на основе предшествующих исследований Г.А. Зотова, Е.А. Памфилова, Н.М. Петренко, П.Г. Пырикова [1, 13, 19 и др.]. На основе разработанных в дальнейшем математических моделей были созданы расчетные методики оценки отдельных показателей качества инструмента, в том числе и дереворежущих фрез [4–6, 10]. Разработанные методики,

результаты испытаний методами неразрушающего стендового контроля качества, а также накопленный производственный опыт позволили снять достаточно много противоречий, что значительно сократило количество различных типов конструкций производимого сборного инструмента. Выполненные исследования явились основой методик, позволяющих давать рекомендации о выборе технологических условий эксплуатации режущего инструмента, прежде всего типа выполняемых операций и обрабатываемых материалов.

Следует отметить, что при наличии общих установленных зависимостей существуют различия при резании металлических и неметаллических материалов, прежде всего древесных и древесно-композитных, характеризующихся существенной анизотропией физико-механических свойств. Это привело к некоторым различиям в требованиях, предъявляемых к металло- и дереворежущему инструменту. Для дереворежущего инструмента характерны более высокие скорости резания, большие массы цилиндрических дереворежущих фрез и ножевых валов и связанные с этим более высокие требования к их точности и балансировке, использованию корпусов фрез из легких сплавов на основе алюминия, что не характерно для металлообработки. Требования к качеству продукции деревообработки предполагают наличие у инструмента максимально возможного количества режущих ножей в корпусе фрезы. Напротив, в металлообработке опыт использования сборных торцовых фрез диаметром 315 мм с увеличенным числом (до 60) сменных механически закрепляемых режущих пластин показал их малую эффективность. Так, по данным литературных источников деревообработка занимает одно из первых мест по количеству травм среди отраслей промышленности. Причин две: большая доля станков с ручной подачей и высокая (3000...30000 об/мин) частота вращения инструмента. Высокие частоты вращения инструмента под воздействием центробежных сил и сил резания могут привести к разрушению инструмента, что обуславливает особые требования к надежности конструкции узлов крепления резцов для сборного инструмента

Поэтому представляет интерес оценка изменения конструктивно-топологической структуры сборных дереворежущих фрез. Если не останавливаться на анализе сборных дереворежущих фрез с позиции их классификации по направлению силового замыкания режущего ножа в гнезде корпуса, то за основную, базовую, можно принять конструкцию фирмы «Leitz» (рис. 1).

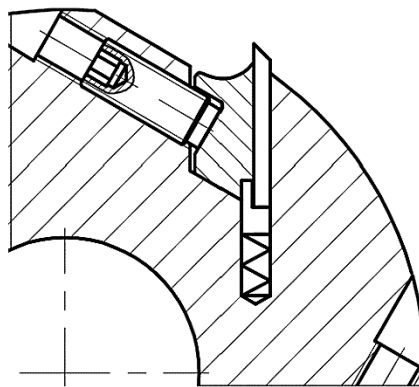


Рис. 1. Узел крепления режущего ножа (конструкция фирмы «Leitz»)

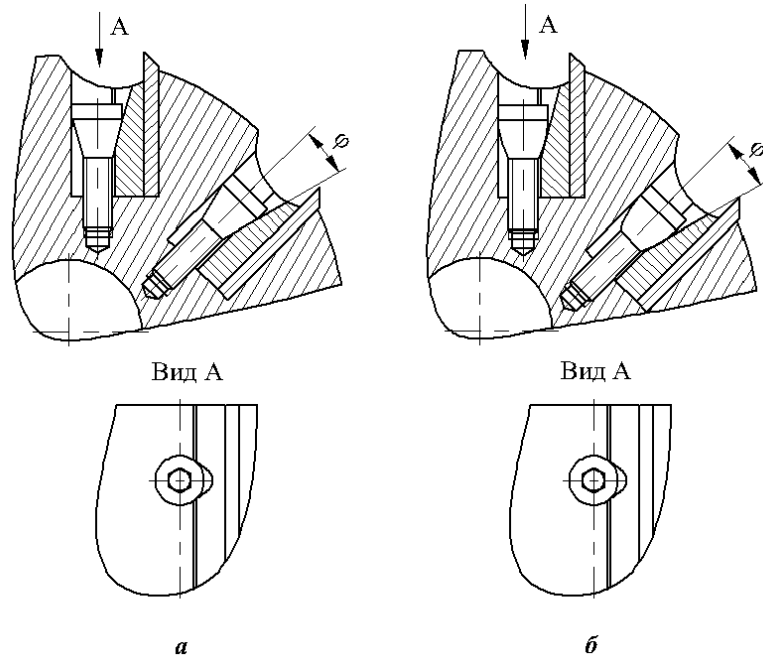


Рис. 2. Узел крепления режущего ножа радиальным винтом: *а* – с коническо-цилиндрической головкой; *б* – с криволинейной в осевом сечении головкой

С позиции увеличения числа зубьев фрезы данную конструкцию можно модифицировать за счет изменения положения крепящих винтов с тангенциального на радиальное (рис. 2) [14], что влечет за собой и изменение конструкции самого винта, поскольку при таком решении силовое замыкание осуществляется коническо-цилиндрической (рис. 2, *а*) или криволинейной в осевом сечении (рис. 2, *б*) головкой винта.

При этом угол наклона цилиндрических пазов прижимной планки определяется из следующих зависимостей:

$$F_{\text{зат}} \geq F_{\text{ин3}} k_3 \frac{2f_{\text{в}} \cos\varphi + (1 - f_{\text{в}}^2) \sin\varphi}{2f_{\text{н}} (\cos\varphi - f_{\text{в}} \sin\varphi)};$$

$$F_{\text{зат}} \geq (F_{\text{ин2}} + 0,5F_{\text{ин3}}) \frac{2f_{\text{в}} \cos\varphi + (1 - f_{\text{в}}^2) \sin\varphi}{f_{\text{н}} \cos\varphi + \sin\varphi},$$

где  $F_{\text{зат}}$  – усилие затяжки винта;

$F_{\text{ин2}}, F_{\text{ин3}}$  – силы инерции ножа и прижимной планки соответственно;

$k_3$  – коэффициент запаса надежности закрепления ножа силами трения;  
 $f_{\text{в}}$  – коэффициент трения поверхностей винта о корпус и прижимную планку;

$\varphi$  – угол наклона цилиндрических пазов прижимной планки;

$f_{\text{н}}$  – коэффициент трения поверхностей ножа о корпус и прижимную планку.

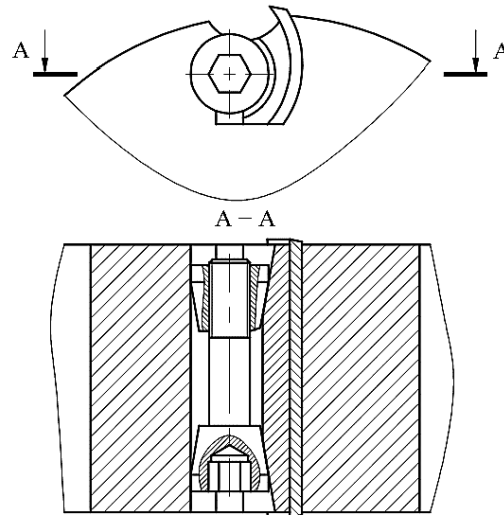


Рис. 3. Узел крепления режущего ножа с осевым расположением винта

Это позволяет увеличить количество ножей на фрезе (диаметр 110 мм) с 5–6 до 9–11 по сравнению с базовой конструкцией.

Следующий этап уменьшения габаритов – изменение радиального расположения винта с коническо-цилиндрической головкой на осевое расположение этого же винта с аналогичной гайкой, составляющих резьбовую пару, и переход к ножу криволинейной формы в поперечном сечении (рис. 3).

Такое решение имеет следующие преимущества:

- уменьшение габаритов узла крепления ножа, что существенно увеличивает прочность и деформируемость корпуса за счет снижения размеров паза;
- повышение надежности закрепления ножа;
- уменьшение дисбаланса, что особенно важно при высоких частотах вращения фрезы.

Дальнейшим развитием предыдущей конструкции [17], направленным на экономию инструментального материала, повышение надежности и стабильности закрепления, является использование тонкого ножа из инструментального материала, который в процессе закрепления упруго деформируется (рис. 4).

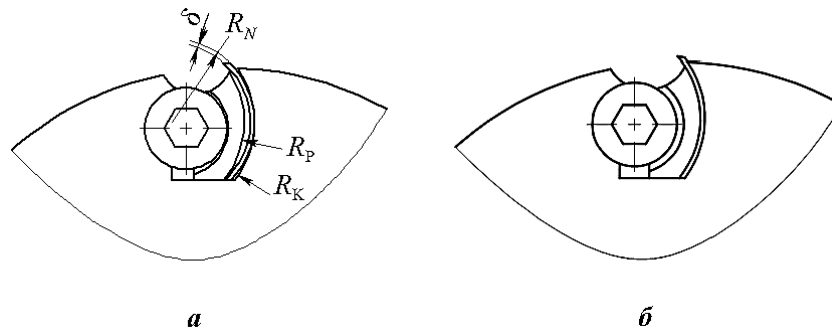


Рис. 4. Узел крепления тонкого деформируемого режущего ножа осевым винтом: *а* – до закрепления, *б* – после закрепления

За счет упругой деформации нож плотно прилегает к базовым поверхностям корпуса фрезы и прижимного элемента, что обеспечивает необходимую прочность и жесткость режущей кромки. Относительно небольшое и контролируемое усилие затяжки винта, достаточное для надежного закрепления ножа, снижает деформации корпуса и повышает стабильность закрепления.

Работоспособность конструкции обеспечивается при следующем условии:

$$R_N = \left( \frac{E \pm [\sigma]}{E \left( \frac{\delta}{2R_K} \right) \pm [\sigma]} + 1 \right) \frac{\delta}{2} \quad (\text{знак «+», если } R_K > R_N, \text{ знак «-», если } R_K < R_N);$$

$$R_P = R_K - \delta;$$

$$[\sigma] \leq 0,85\sigma_T.$$

где  $R_N$  – радиус наружной цилиндрической поверхности режущего ножа в недеформированном состоянии;

$E$  – модуль Юнга материала ножа;

$[\sigma]$  – допускаемое напряжение;

$\delta$  – толщина ножа;

$R_K$  – радиус опорной поверхности паза корпуса;

$R_P$  – радиус прижимной поверхности крепящего элемента, которая упирается в переднюю поверхность режущего ножа;

$\sigma_T$  – предел текучести материала ножа.

Другое направление увеличения числа режущих ножей фрезы – изменение формы его поперечного сечения. Разработанная конструкция [18], представленная на рис. 5, имеет радиусные в радиальном сечении фрезы двухлезвийные режущие ножи, выполненные с геометрией заточки для заднего угла  $\alpha$  меньше, а для переднего угла  $\gamma$  больше на  $\frac{1}{2}$  от рекомендованного заднего угла. В гнезде корпуса фрезы ножи повернуты на тот же угол  $\beta$ , что обеспечивает требуемую для резания геометрию и плоскостной контакт задней опорной поверхности ножа с базовой опорной поверхностью гнезда корпуса.

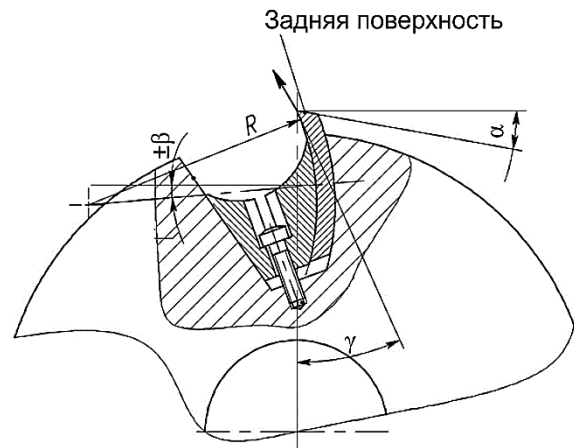


Рис. 5. Узел крепления фрезы с радиусными режущими пластинами и его геометрические параметры



При этом положение режущего ножа в корпусе связано с геометрическими параметрами фрезы следующей зависимостью:

$$R = \frac{D - d + (12...15)}{4 \sin(\gamma \pm \beta)},$$

где  $R$  – радиус передней поверхности режущего ножа;

$D$  – наружный диаметр фрезы (корпуса фрезы);

$d$  – диаметр посадочного отверстия фрезы;

$\beta$  – угол положения режущего ножа по отношению к линии, нормальной (перпендикулярной) к плоскости и проходящей через режущую кромку и ось фрезы (в сечении).

Возможны и другие структурно-топологические решения, позволяющие не только решить задачи увеличения числа зубьев и экономии инструментальных материалов, но и улучшить технологичность конструкции, по новому решить вопрос подготовки фрез (рис. 6) [15]. В этой конструкции гнездо под двухлезвийный режущий нож выполнено цилиндрическим с радиусом, равным радиусу задней поверхности серпообразного в радиальном сечении фрезы ножа. Радиусы передней и задней поверхностей ножа:

$$R_n = \frac{H}{2 \sin \gamma};$$

$$R_3 = \frac{H}{2 \cos \alpha},$$

где  $H$  – ширина ножа.

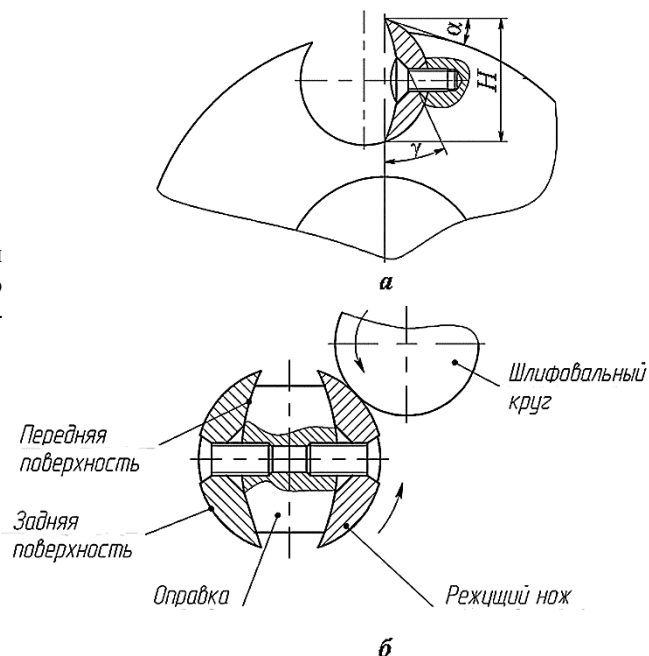


Рис. 6. Узел крепления серпообразного режущего элемента (а) и схема заточки ножей по задней поверхности (б)

Такое исполнение позволяет иначе обеспечивать подготовку фрезы к работе в части восстановления режущей способности изношенных ножей. Схема заточки ножей по задней поверхности представлена на рис. 6, б.

Существуют и другие формы механически закрепляемых режущих ножей, например как в конструкции фрезы [16] (рис. 7), в которой режущие ножи и пазы корпуса под двухлезвийные режущие ножи в радиальном сечении фрезы выполнены в виде двояковыпуклой линзы с радиусами передней и задней поверхностей. На рис. 7, б представлена схема закрепления линзообразных ножей в пазах корпуса с помощью эксцентрика.

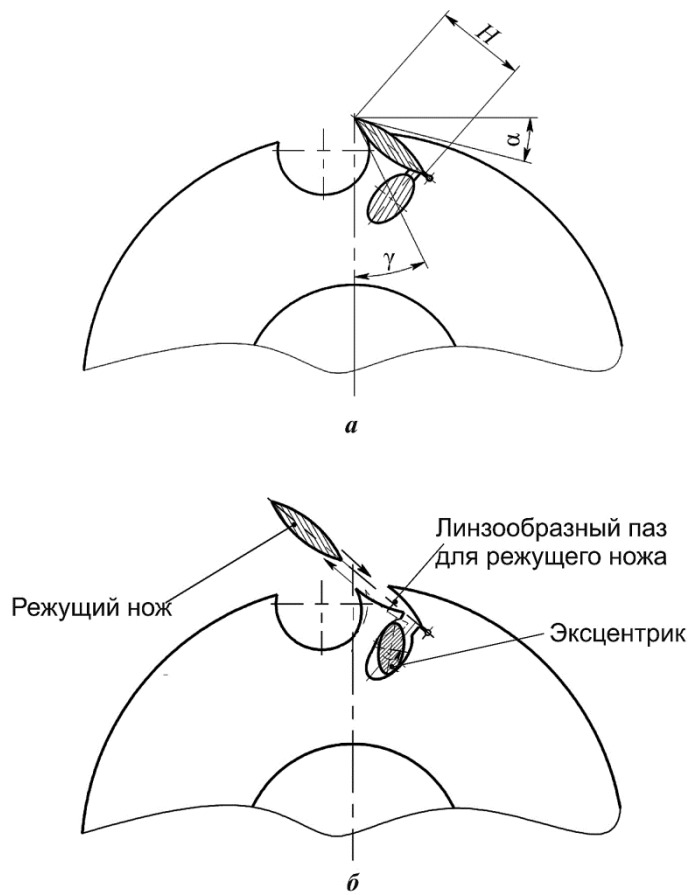


Рис. 7. Узел крепления линзообразного режущего элемента (а) и схема крепления ножей с помощью эксцентрика (б)

Соответствующие прижимные и опорные поверхности пазов под режущие ножи определяются следующими зависимостями:

$$\arccos\left(\frac{H}{2R_{II}}\right) + \arccos\left(\frac{H}{2R_3}\right) = \alpha + \gamma + 90.$$

В представленных конструкциях сборных дереворежущих фрез рабочие поверхности режущих элементов имеют сложную криволинейную форму, что оказывает существенное влияние на процесс резания, поэтому приведенные в [5–7] методики деформационно-прочностных расчетов, учитывающих лишь конструктивную схему узла крепления, требуют дальнейшего развития. Это позволит не только оптимизировать существующие конструкции, но и синтезировать новые конструктивно-топологические решения при проектировании сборного режущего инструмента.

#### *Выводы*

1. Существующие методики прогнозирования эксплуатационной надежности (комплексного показателя качества сборного режущего инструмента) носят вероятностный характер, поэтому для получения достоверных данных необходимы стойкостные испытания. Это сдерживает их использование проектировщиками при создании новых конструкций.

2. Оптимизация конструктивно-топологической структуры дереворежущего инструмента в направлении изменения схемы базирования и крепления режущих элементов в корпусе фрезы, увеличения числа ножей и формы режущего клина приводят к необходимости совершенствования комплексных расчетных методик, позволяющих оценивать показатели качества инструмента на стадии проектирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зотов Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
2. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 279 с.
3. *Малкин А.Я.* Вопросы качества режущих инструментов // Машиностроение. 1976. № 11. С. 95–104. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Малыгин В.И., Кремлева Л.В.* Методика расчета динамических параметров процесса фрезерования древесины с учетом кинематической неустойчивости технологической системы // Лесн. журн. 2002. № 1. С. 95–103. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Малыгин В.И., Лобанов Н.В.* Модель напряженного состояния сборного дереворежущего инструмента для оценки его качества на стадии проектирования // Лесн. журн. 2001. № 4. С. 58–74. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Малыгин В.И., Лобанов Н.В., Кремлева Л.В.* Методы оптимизации и оценки качества дереворежущих фрез при стендовом и математическом моделировании. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации конструкции сборного инструмента при физическом и математическом моделировании // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 60–70. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Малыгин В.И., Перфильев П.В.* Методы оптимизации и оценки качества дереворежущих фрез при стендовом и математическом моделировании. IV. Аналитические методы оценки качества дереворежущих фрез по напряженно-деформированному состоянию // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 68–79. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. *Малыгин В.И., Пантюхин Ю.В., Расторгуев В.В.* Результаты исследования качества стандартных сборных фрез по их статическим и динамическим характеристикам // Исследование технологии и конструкций деталей машин, оборудования и инструмента. М.: УДН, 1986. С. 36–39.

9. *Малыгин В.И., Пантюхин Ю.В., Светлаков Г.Б.* Исследование влияния отдельных конструктивных и технологических параметров на динамическую податливость сборных режущих инструментов // Исследование технологии и конструкций деталей машин, оборудования и инструмента. М.: УДН, 1985. С. 19–22.

10. *Малыгин В.И., Смаглов А.Е.* Оценка точности вычислений по уравнению теплопроводности при проектировании дереворежущего инструмента // Лесн. журн. 2001. № 5. С. 81–87. (Изв. высш. учеб. заведений).

11. Обеспечение работоспособности рабочих органов и инструментов машин и оборудования лесного комплекса / Е.А. Памфилов, П.Г. Пыриков, А.Н. Заикин, В.М. Меркелов // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 77–83. (Изв. высш. учеб. заведений).

12. Обобщенная оценка качества режущих инструментов, выпускаемых инструментальными заводами МС и ИП: метод. указ. М.: ВНИИинструмент. 1975. 40 с.

13. *Памфилов Е.А., Петренко Н.М.* К вопросу о механизме изнашивания дереворежущего инструмента // Лесн. журн. 1978. № 3. С. 148–150. (Изв. высш. учеб. заведений).

14. Пат. 2354543 РФ, МПК В27G. Сборная дереворежущая фреза / Малыгин В.И., Прокофьев Г.Ф., Лобанов Н.В., Лобанова И.С.; заявитель и патентообладатель АГТУ. Заявл. 13.06.2007; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13. 2 с.

15. Пат. 2422263 РФ, МПК В27G. Сборная дереворежущая фреза / Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Мелехов В.И., Шестаков К.Л.; заявитель и патентообладатель АГТУ. Заявл. 19.05.2010; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18. 3 с.

16. Пат. 2433035 РФ, МПК В27G. Сборная дереворежущая фреза / Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Мелехов В.И., Шестаков К.Л.; заявитель и патентообладатель АГТУ. Заявл. 29.04.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31. 2 с.

17. Пат. 2436670 РФ, МПК В27G. Сборная дереворежущая фреза / Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Мелехов В.И., Шестаков К.Л.; заявитель и патентообладатель АГТУ. Заявл. 11.05.2010; опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35. 3 с.

18. Пат. 2462351 РФ, МПК В27G. Дереворежущая фреза / Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Прокофьев Г.Ф., Чистякова О.Н.; заявитель и патентообладатель АГТУ. Заявл. 12.04.2011; опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27. 3 с.

19. *Пыриков П.Г.* Повышение стойкости инструментов для деревообработки. Брянск: БГИТА, 2009. 210 с.

20. *Хаев Г.Л.* Прочность режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1975. 40 с.

Поступила 16.01.13

*V.I. Malygin, L.V. Kremleva, N.V. Lobanov, V.I. Melekhov*

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

### **Evolution of the Topological Structure of Wood-Milling Cutters**

Modern wood industry is actively applying interlocking cutters with disposable cutter elements made of tool steel and hard alloys. Currently, manufacturers offer a great number of interlocking cutters varying in design, locating methods and types of blade insertion.

When developing and producing new designs of interlocking wood-milling cutters, manufacturers rarely take into account quality parameters of the cutter and, first of all, its operational reliability. As there are no integrated engineering methods for choosing the optimal cutter design, there emerged several approaches to determination and forecasting of reliability and service life of interlocking cutters.

The aim was to identify key areas for improvement and development of the topological structure of the interlocking wood-milling cutter with regard to required operational reliability and manufacturability.

Based on the analysis of existing quality evaluation approaches for interlocking cutters, we indicated advantages and disadvantages of the empirical methods used by manufacturers to determine reliability and service life of interlocking cutters.

The article provides the results of research and development projects on improvement of wood cutter design, with regard to its operational reliability, manufacturability and efficiency. The design of the wood-milling cutters was improved both in terms of the form of the cutter element, and their location in the housing. The article presents arrangement schemes for cutting units, equations for key parameters of operational reliability, as well as drafts for assembly and replacement of cutter elements.

The existing methods of forecasting operational reliability of the interlocking cutter are of probabilistic nature, which prevents designers from using them when creating new designs; changes in the topological structure of the wood-milling cutter both in terms of location and fitting of the cutter elements in the housing, changes in the form and number of blades and changes in the form of the cutter element call forth integrated engineering methodologies to evaluate cutter quality at the design stage.

*Keywords:* wood-cutting tool, reliability, service life, topology, optimization, calculation method.

---

УДК 66.03.05

**С.В. Иванов, Е.С. Шарапов**

Поволжский государственный технологический университет

Иванов Станислав Валерианович родился в 1959 г., окончил в 1964 г. Поволжский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 80 печатных работ в области конструкций деревообрабатывающих станков и инструментов.  
Тел. +7-961-373-52-54

Шарапов Евгений Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 40 печатных работ в области комплексного использования лесных ресурсов.  
E-mail: sharapov\_evgeniy@mail.ru

### **РЕЗАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ: ОБЗОР, АНАЛИЗ И ФОРМУЛИРОВКА ПОНЯТИЯ**

Представлен анализ существующих определений термина «резание». Сформулирована актуальность модернизации существующих определений в целях разработки единого термина. Предложена новая, охватывающая различные направления деятельности формулировка понятия «резание».

*Ключевые слова:* резание материалов, резание древесины, поверхность резания, определение.

Резание так давно, широко и глубоко вошло в наш быт, ремесла, производственные процессы и др., что вопрос о том, что такое резание, что оно собой представляет и из чего состоит, у обычного человека вряд ли возникает. Этот обычный человек в своей речи свободно и по прямому назначению использует следующие однокоренные глаголы: резать, нарезать, срезать, отрезать, надрезать, подрезать и т.д. Используют эти же глаголы и в переносном значении: «без ножа зарезал», «срезался на экзамене», «срезал дистанцию на лыжне» и т.п. Все было бы и дальше так же ясно любому человеку, включая специалиста по обработке материала резанием, если бы в языке не было широко употребляемых глаголов, отражающих реальные процессы: строгать, рубить, косить, скоблить, шлифовать и т.д. Это уже не однокоренные глаголы, ни в одном из них нет корня «рез». Поэтому ответить на вопрос, какой процесс эти глаголы представляют (процесс резания или какой-то другой), затруднительно. Хотя ясно, что все эти глаголы объединяет нечто общее. Самое простое и надежное, что можно сделать для устранения сомнений, – это обратиться к авторитетному мнению или к справочнику, учебнику.

---

© Иванов С.В., Шарапов Е.С., 2013

Если взять справочники, учебники по резанию металлов или материалов, то в них приводится множество разных понятий, связанных с этим процессом. Но их авторы, как правило, уклоняются от формулировки основного понятия «резание». В учебниках же по обработке древесины резанием это понятие, как правило, приводится давно. Но, к сожалению, в последние десятилетия из одного учебника в другой и практически без переработки переносится крайне неудачная и бесполезная формулировка: «Резание – это технологический процесс разрушения связей между частицами обрабатываемого материала по заданной поверхности в целях получения изделия требуемых размеров, формы и шероховатости» [1].

Последовательно проанализируем каждую составляющую этого определения. В нем указывается на то, что это понятие является общим на все случаи. Такой же подход отмечен и в других литературных источниках. Мы полностью его разделяем. Не может, не должно быть отдельных, самостоятельных определений типа: «резание пропаренной древесины – это...», «резание камня – это...» и т.д.

Далее указывается, что резание – «это технологический процесс». Но ведь резание возникло давно. Еще в доисторическую эпоху, когда никакой техники и никакого учения о резании не было, т.е. не было технологии, а обработка резанием и просто резание были. Надо отметить, что традиция называть резание технологическим процессом сложилась только в литературе по резанию древесины. Возможно, это впервые сделал С.А. Воскресенский [2]. Резание абсолютно ничего не потеряет, если из определения убрать слово «технологический».

Затем утверждается, что резание – это «процесс разрушения». Если принять за исходное определение понятия «резание», данное С.А. Воскресенским, то оно не только более точно отражает сущность резания, но и не впадает в такую крайность, как считать резание разрушением. Он резанием называет процесс отделения от объекта его части клиновидным резцом. Показательно, что больше ни в каких других источниках, кроме учебников по резанию древесины, не встречается утверждение, что резание – это разрушение.

И совсем уже из области абстрактной псевдонаучной фантастики, что резание – это «процесс разрушения связей между частицами обрабатываемого материала». Это утверждение ничего общего не имеет с реальным строением древесины. Более того, это смелое допущение далее никак и никем не используется не только в пределах учебника [1], но и за его пределами. Тогда какой смысл его вводить?! Ведь древесина состоит вовсе не из частиц. А если нет частиц, то и нет связей между ними. Конечно, для успешной обработки материалов резанием необходимо знать их свойства, строение, но реальные, а не выдуманные.

Далее в определении дается уточнение, что резание идет по «заданной поверхности», которого нет в известных нам определениях понятия «реза-

ние». На самом деле, это определение ничего не уточняет, так как не вполне понятно кто или что и как «задает» эту поверхность.

И, наконец, утверждается, что все это осуществляется «в целях получения изделия требуемых размеров, формы и шероховатости». А если резать с другими целями, например косить траву, овес, пшеницу, то это уже не резание? Разве резание может существовать только тогда, когда ставиться та или иная цель, и непременно благая?

Конечно, все наоборот. Резание существует само по себе, а вот применения ему могут быть самые разные, с самыми разными целями. Так же как и нож существует сам по себе, а вот применить его можно и для очистки картошки, и для нарезки хлеба, и для заточки карандаша, и для многого другого, в основе которого будет лежать резание.

Таким образом, анализ приведенного выше понятия «резание», показал, что оно не только крайне неудачно, но и не может служить основой для его усовершенствования, так как в нем практически нет надежных конструктивных элементов.

Обратимся к другим определениям. Сначала рассмотрим то, которое дано в ГОСТ. 3. 1109 – 82. Термины и определения основных понятий: «Обработка резанием – обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материалов с образованием стружки». Это определение, предназначенное для описания производственных технологических процессов, не учитывает того, что резание не всегда обязательно сопровождается отделением стружки от материала. У деревообработчиков, например, существует термин «бесстружечное резание», т.е. признается, что резание возможно и без образования стружки. Следовательно, нет большой необходимости резание обязательно связывать с образованием стружки. Резание, конечно, сопровождается стружкообразованием во многих процессах при резании материалов с пластинными свойствами, но далеко не во всех. Вот что отмечает в этой связи Е.М. Трент [4]: «Бесполезно пытаться дать точное определение резанию металлов. В этой книге под термином «резание металлов» понимают операции, в которых тонкий слой металла – стружка – удаляется клинообразным инструментом с заготовки. Трудно провести четкую границу между операциями, происходящими при образовании стружки от других операций, таких как разрезание листового металла, пробивание отверстий или обрубка стержней. Эти операции также могут быть отнесены к операциям резания металлов, однако действия, производимые режущими инструментами, и процесс разделения материала на части в этих случаях настолько отличаются от процессов, с которыми сталкиваются при операциях, сопровождающихся образованием стружки, что этот вопрос требует специального обсуждения и в данной книге не рассматривается».

В заключение, обратимся к определению понятия резания, которое дается в одном из последних учебников по резанию металлов [3]. Авторы этого учебника не решились напрямую сформулировать его как определение.



Мы нашли его во введении к этому учебнику, где оно никак не выделяется из сплошного текста: «Процесс резания материалов заключается в том, что режущий инструмент воздействует на поверхностный слой заготовки и отделяет его от ее основной массы, превращая в стружку, в целях получения детали необходимой формы и размеров с соответствующим качеством обрабатываемых поверхностей».

Таким образом, в результате анализа перечисленных в статье литературных источников мы приходим к заключению, что в настоящий момент отсутствует достаточно обоснованное общее понятие о том, что такое резание, хотя науке о резании, начало которой положил в 1870 г. труд проф. А.И. Тиме «Сопротивление металлов и дерева резанию», уже более 100 лет.

Приведенные выше определения, конкурируя и противореча друг другу, дают достаточную основу и повод поразмыслить о том, что такое резание, и позволяют предложить более общую и взвешенную формулировку этого понятия.

Является ли резание процессом, операцией, обработкой или действием? Процесс – это слишком широко и амбициозно. Операция, как и обработка, в большей мере характеризует производственные процессы. Действие, воздействие – это термин, извлеченный из определений, данных в источниках [2] и [3], является наиболее общим, исходным, он входит и в процесс, и в операцию, и в обработку, поэтому подходит для определения лучше других терминов.

Далее необходимо определить, что является объектом резания: материал, предмет, объект или заготовка? Если иметь в виду самый общий случай, то наиболее подходит термин «предмет». Хотя другие термины лучше описывают использование резания применительно к тому или иному виду промышленного производства.

Что еще необходимо для резания? Для резания необходим инструмент. Обычно в качестве резца используют твердое заостренное клиновидное тело. Но режут также струей воды, лазером, натянутой струной и иными способами. Как быть в этих случаях? Не считать это резанием, но это противоречит сложившимся, вполне разумным представлениям.

Желательно в определении сущности резания указать не только объект воздействия, инструмент воздействия, но и причину, по которой происходит отделение от предмета его части в виде стружки. Говорят, что «где тонко, там и рвется». А если нигде не тонко, везде все одинаково или, что хуже, тонко там, где не нужно. Например, при резании взадир волокон древесины или при резании хрупких материалов стружка, несмотря на это, срезается не случайным образом по тонкому месту, а каждый раз одинаково и, именно, там, где положено. Причина этого заключается в том, что рвется там, где сконцентрировано воздействие, или, применительно к клиновидному резцу, там, где резко сконцентрированы напряжения – на режущей кромке.

Таким образом, в общем случае под термином «резание» следует понимать следующее.

Резание – это способ обработки предмета (объекта, материала, заготовки) путем концентрированного механического или иного энергетического воздействия инструментом на его локальную область, в результате которого от предмета отделяется его часть (части) и образуется поверхность раздела по следу перемещения концентрированного воздействия инструмента.

При резании пластичного материала за одно движение резания возможно отделение одной его части, при резании хрупкого – нескольких частей. При фрезеровании и сверлении древесины (как и в большинстве других случаев) цельная поверхность раздела образуется только на заготовке, при строгании и лущении шпона – и на заготовке (чураче, ванчесе), и на отделяемой от него части (шпоне).

Представленное определение выявляет главное и указывает на то, что для уменьшения затрат на резание и повышения качества резания, независимо от вида применяемого инструмента, необходимо произвести как можно более концентрированное воздействие на предмет. При резании клиновидными резацами концентратором воздействия, создающим концентрацию напряжений в обрабатываемом материале, является режущая кромка резца. Ведь не сегодня сказано, что качество резания лежит на кончике резца.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амалицкий В.В. Оборудование отрасли. М.: МГУЛ, 2006. 584 с.
2. Воскресенский С.А. Резание древесины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 200 с.
3. Резание материалов / Е.Н. Трембач [и др.]. Старый Оскол: ООО ТНТ, 2007. 512 с.
4. Трент Е.М. Резание металлов / Пер. с англ. Г.И. Айзенштока. М.: Машиностроение, 1980. 264 с.

Поступила 14.09.11

*S.V. Ivanov, E.S. Sharapov*

Volga State University of Technology

#### **Wood Cutting: Overview, Analysis and Concept Formulation**

The existing definitions of *cutting* are analyzed. In order to develop a uniform term we substantiated the need for modernization of the existing definitions. A new definition of *cutting* is suggested, covering various areas of human activity.

*Keywords:* materials cutting, wood cutting, cutting surface, definition.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 577.15.08: 58.01:581.5

**К.Г. Боголицын, М.В. Сурсо, М.А. Гусакова, И.Н. Зубов**

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, директор Институт экологических проблем Севера УрО РАН, проректор по научной работе, зав. кафедрой теоритической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, засл. деятель науки РФ. Имеет более 480 научных работ в области развития фундаментальных принципов «зеленой» химии и разработки физико-химических основ процесса переработки древесины.

Тел.: (8182) 28-55-40

Сурсо Михаил Вольдемарович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. лесохозяйственный факультет Архангельского лесотехнического института, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 60 научных работ в области эмбриологии, анатомии и морфологии голосеменных, генетики популяций, лесного семеноведения.

E-mail: surso@ierp.ru

Гусакова Мария Аркадьевна окончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 80 научных трудов в области химии древесины.

Тел.: (8182) 28-55-40

Зубов Иван Николаевич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет, аспирант лаборатории химии растительных биополимеров Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 10 научных трудов в области химии древесины.

E-mail: zubov.ivan@bk.ru

### **ДИНАМИКА СЕЗОННЫХ И ВОЗРАСТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРА АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗЫ В ХВОЕ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО (*JUNIPERUS COMMUNIS* L.)\***

В процессе роста и развития древесных растений происходит изменение состава и, как следствие, свойств и строения древесного композита, а также ферментативных комплексов – неотъемлемых составляющих живой клетки. Одними из наиболее

---

\* Исследования выполнены на оборудовании ЦКП КТ РФ-Арктика (ИЭПС, ИФПА УрО) в рамках проекта УрО РАН 12-М-45–2012 «Влияние абиотических факторов на структуру и свойства надмолекулярных комплексов биополимеров растительной клетки» (Программа междисциплинарных фундаментальных исследований, выполняемых в нескольких организациях УрО РАН, относящихся к разным объединенным ученым советам УрО РАН).

© Боголицын К.Г., Сурсо М.В., Гусакова М.А., Зубов И.Н., 2013

важных и распространенных ферментов высших растений являются пероксидазы. Возрастные изменения параметра активности пероксидазы и содержания лигнина имеют схожий характер, однако сезонные колебания активности фермента могут нивелировать возрастную динамику. Цель данной работы – определение сезонных колебаний параметра активности пероксидазы в хвое можжевельника и оценка их вклада в возрастную динамику.

Показано, что при относительно ровном течении климатических факторов северной подзоны тайги динамика сезонных изменений параметра пероксидазной активности в хвое можжевельника зависит от пола растения и стадии репродуктивного развития. Созреванию шишкоягод сопутствует рост пероксидазной активности, однако возраст можжевельника оказывает определяющее воздействие на данный параметр.

*Ключевые слова:* ферментативная активность, пероксидаза, сезонные колебания, возрастная динамика, можжевельник.

Анализ ферментативной активности имеет особое значение при оценке уровня физиологического состояния растений [2]. Одними из наиболее важных и распространенных ферментов высших растений являются пероксидазы (ПО), которые представлены генетически разнородными белками [1, 10]. Повсеместное присутствие ПО в растительных и животных тканях, а также в составе метаболитов грибов и бактерий дает основание считать этот фермент жизненно важным соединением высших и низших организмов.

Изменение активности пероксидазы (АПО) и спектров ее изоформ изучено при действии низких и высоких температур, гормонов, в условиях дефицита минерального питания, засухи, засоления, в отклике на поранение и другие неблагоприятные факторы [6, 11, 12, 14, 15, 18]. Универсальность активизации ПО при различных стрессах, а также участие во многих физиологических процессах в растениях связана с разнообразием генов, кодирующих этот фермент [17, 19].

Согласно общепринятому представлению, основной функцией ПО является защита организма от вредного действия активных форм кислорода, образующихся при фотосинтезе и дыхании [11, 13]. Активизация ПО под влиянием неблагоприятных воздействий – характерная ответная реакция растений, обеспечивающая нормальный ход окислительных процессов. Таким образом, показатель активности ПО можно использовать в качестве диагностического признака жизненного состояния растений.

В процессе роста и развития древесного растения происходят как качественные, так и количественные изменения состава, свойств и строения древесного композита, а также ферментативных комплексов – неотъемлемых составляющих живой клетки. Ранее нами уже проводились исследования по оценке возрастной изменчивости активности растительных ПО [4]. Однако сезонные колебания пероксидазной активности могут нивелировать ее возрастную динамику.

Целью данной работы являлась оценка сезонных колебаний параметра АПО в хвое можжевельника и их вклада в возрастную динамику.

В качестве объекта исследования нами был выбран можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.) как наименее изученный, представитель хвойных видов тундровой зоны [3, 7, 8, 16].

На основе анализа ландшафтно-геологических факторов нами была выбрана тестовая площадка в окрестностях д. Ижма Приморского района Архангельской области (географические координаты: 64°43' с.ш., 40°48' в.д.). Площадка находится вне зоны техногенного воздействия (рис. 1). Участок представляет собой опушку производного смешанного разновозрастного сосново-елово-березового древостоя с редкой примесью ивы козьей (*Salix caprea*) в древесном ярусе. Тип леса – сосняк черничный. Участок граничит с заброшенными сенокосными угодьями. Почва среднеподзолистая, слабо оглеенная, легко суглинистая на среднем моренном суглинке.

На участке произрастают можжевельники преимущественно семенного происхождения. Возраст наиболее старых растений от 60...70 до 80...90 лет. Растения представляют собой типичную форму можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L. f. *typica*): кустарники или невысокие деревца, стволы начинают ветвиться на некоторой высоте от поверхности почвы или не ветвятся. Крона плотная, густо охвоенная, узко эллипсовидная (кипарисовидная), заостренная кверху. Максимальная высота растений 6 ... 8 м.

Образцы хвои отбирали с растений можжевельника обыкновенного разных возрастов в период с июня по сентябрь 2012 г. Возраст растений определяли на поперечных спилах или по кернам, взятым вблизи шейки корня стволиков. Подсчет годовичных колец производили при помощи бинокулярного микроскопа МБС-10 (увеличение окуляра ×8, объектива – ×2). Возраст исследованных можжевельников варьировался от 17 до 82 лет.

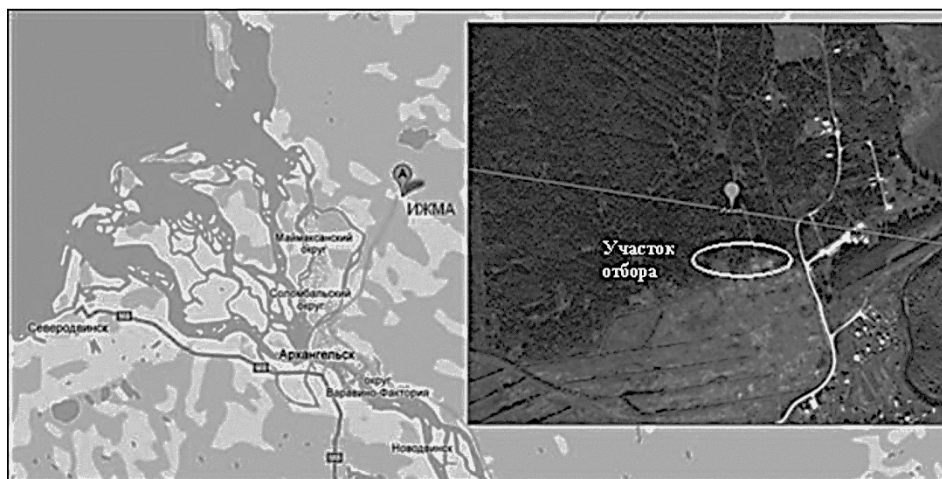


Рис. 1. Участок отбора проб хвои и древесины можжевельника

Параметр АПО хвои определяли по методике [9], доработанной и адаптированной нами для растительного сырья.

Навеску хвои массой 20...200 мг с небольшим количеством 0,1 М калий-фосфатного буфера (рН 7,0) растирали в фарфоровой ступке и доводили до 25 мл. Гомогенат выдерживали 15 мин при температуре 25 °С, после чего фильтровали через двойной бумажный фильтр, фильтрат использовали в качестве препарата ПО.

АПО хвои определяли при температуре 25 °С по скорости окисления 1,5 мМ гваякола («Sigma») 0,68 мМ пероксидом водорода в 0,1 М калий-фосфатном буфере (рН 7,0) при  $\lambda = 417$  нм на УФ-спектрофотометре Shimadzu UV-1800.

Концентрацию пероксида водорода определяли спектрофотометрически при  $\lambda = 240$  нм. Оптическая плотность раствора относительно воды должна составлять 0,40...0,41.

Для расчета АПО хвои (в условных единицах, принятых в пределах данного исследования) использовали следующую формулу:

$$\text{АПО} = (4RV_i\Delta A) / (\varepsilon m), \quad (1)$$

где 4 – переводной коэффициент;

$R$  – разбавление;

$V_i$  – объем реакционной смеси в кювете,  $V_i = 3$  мл;

$\Delta A$  – изменение оптической плотности во времени, ед. опт. плотности/мин;

$\varepsilon$  – микромолярный коэффициент экстинкции тетрагваякола,  $\text{см}^2/\text{мкМ}$ ;

$m$  – масса навески хвои, мг.

Данные об АПО в хвое можжевельника, произрастающего в Приморском районе Архангельской области и отобранного в период с июня по сентябрь 2012 г., представлены в таблице.

№ образца	Возраст дерева, лет	АПО	ΔАПО	АПО ср
		е.а.		
1	67	9,32...15,36	6,04	11,86
2	82	14,36...23,06	8,70	17,74
3	63	5,74...12,36	6,62	8,03
4	45	1,53...8,44	6,91	3,89
5	32	4,78...10,91	6,13	6,75
6	25	6,20...20,91	14,71	16,95
7	47	3,09...4,72	1,63	4,16
8	33	10,80...17,20	6,40	13,86
9	34	8,13...10,49	2,36	9,23
10	71	7,62...16,57	8,95	11,76
11	17	13,37...19,30	5,93	16,25
12	27	7,95...16,09	8,14	12,37
13	32	8,12...11,84	3,72	10,57
14	35	6,85...8,95	2,71	8,48

Из данных таблицы видно, что колебания АПО в хвое можжевельника имеют довольно широкий диапазон. Например, сезонные изменения АПО варьируют от 1,63 до 14,71 е.а., однако для основной массы анализируемых образцов этот параметр составляет 6...9 е.а.

Можно предположить, что при относительно ровном течении климатических факторов (отсутствие сильной жары, заморозков, засухи и избыточного переувлажнения почвы) вегетационного периода 2012 г. на участках леса вне зоны техногенных эмиссий и минимизированного антропогенного воздействия основными факторами сезонных колебаний АПО в хвое можжевельника являются развитие и созревание семян.

Примордии макростробилов закладываются на женских особях в пазухах хвои побегов второго года жизни. Семена созревают на третий год к середине вегетационного периода, когда шишкочагоды все еще остаются зелеными. Зрелые шишкочагоды темно-синие, позднее – иссиня-черные.

Сроки созревания шишкочагод исследованных можжевельников представлены ниже.

Сроки созревания № образца	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
	–	6, 12, 13	1, 3, 7, 14	5

С учетом сроков созревания исследуемые особи можжевельника были разбиты на три группы (рис. 2): I – деревья, на которых шишкочагоды не были обнаружены; II – деревья с шишкочагодами, созревшими в июле; III – деревья с шишкочагодами, созревшими в августе – сентябре

Для большинства исследованных образцов АПО хвои можжевельника имеет максимум в начале вегетационного периода (конец мая – начало июня), после чего наблюдается снижение ферментативной активности. Особенно ярко эта тенденция проявляется для деревьев I группы. Таким образом, к этой группе отнесены мужские растения, а также растения, не вступившие в репродуктивную стадию.

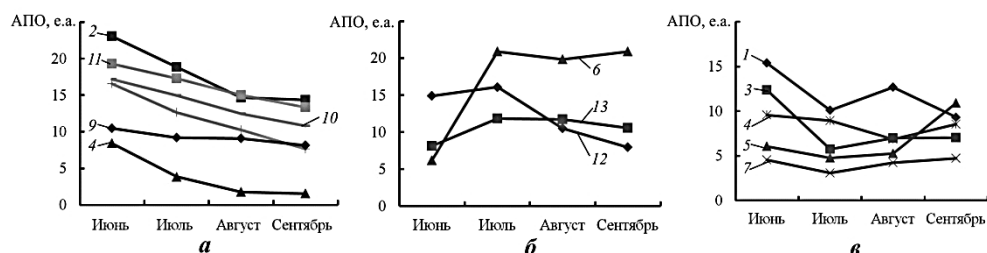


Рис. 2. Сезонное изменение АПО в хвое можжевельника: а – деревья без шишкочагод (группа I); б – деревья с шишкочагодами, созревшими в июле (II); в – деревья с шишкочагодами, созревшими в августе – сентябре (III) (см. обозначения в таблице)

Для двух других групп (II и III) наблюдается появление пика (максимума) АПО, его смещение и рассеивание в течение вегетационного периода. Так, для образцов 6, 12, 13 и 1, 3, 5, 7, 14 максимум АПО приходится соответственно на июль и август–сентябрь, что по времени совпадает с периодом созревания шишкоягод.

Вероятно, процессу созревания семян на женских особях можжевельника сопутствует активизация растительных ПО, которая поддерживается на протяжении периода дозревания шишкоягод, после чего наблюдается снижение АПО. Размывание максимума АПО, а следовательно, и сроков созревания шишкоягод можно объяснить неравномерностью сроков прохождения фаз женского генеративного цикла у разных особей можжевельника.

Помимо сезонных колебаний АПО отдельных растений, для можжевельника характерен широкий интервал средних значений: от 3,89 до 17,74 е. а., вероятно связанный с возрастом исследуемых деревьев [4]. Поэтому после конечного (в сентябре) отбора образцов хвои нами были получены образцы древесины для определения возраста исследуемых деревьев можжевельника и проверки этого предположения. Данные о возрасте исследованных образцов приведены в таблице.

На рис. 3 представлена динамика возрастных изменений АПО в период с июня по сентябрь.

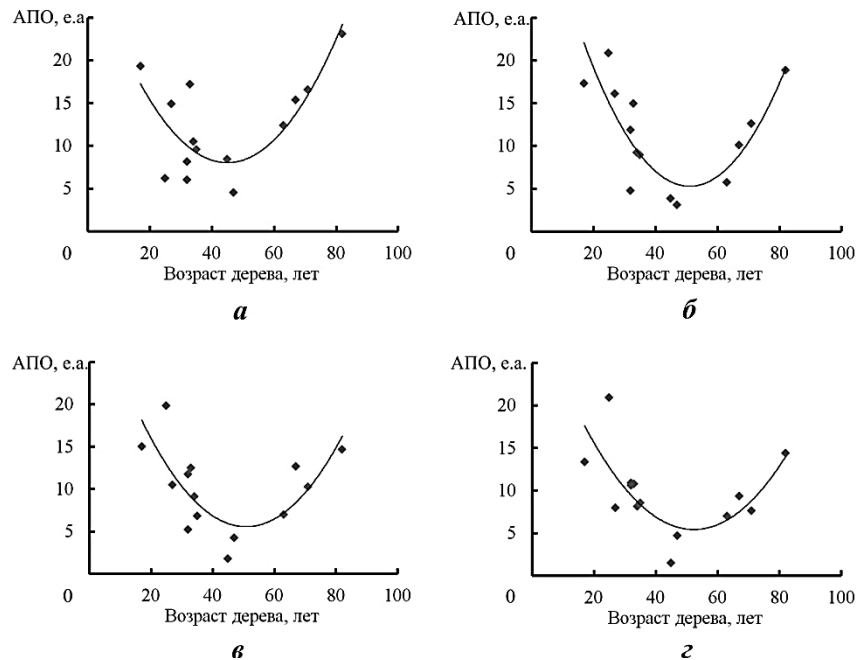


Рис. 3. Возрастная изменчивость АПО в хвое можжевельника:  
а – июнь; б – июль; в – август; з – сентябрь



Из рис. 3 видно, что хвоя молодых можжевельников характеризуется наивысшим значением АПО. По достижении возраста 45...50 лет наблюдается спад ферментативной активности, после которого наступает ее рост. Учитывая, что данная тенденция характерна для всех периодов отбора хвои, можно говорить о незначительном вкладе сезонных колебаний в возрастную зависимость АПО в хвое можжевельника.

Из ряда публикаций [5, 20] известно, что в растениях на ранних стадиях роста процессы биосинтеза протекают наиболее интенсивно, следовательно, для них характерен повышенный уровень активности ферментативных комплексов, вовлеченных в процесс формирования древесного вещества. С увеличением возраста дерева процессы биосинтеза в нем замедляются и по достижении 45...50 лет (середина жизненного цикла большинства можжевеловых деревьев, произрастающих в этом регионе) АПО начинает возрастать, проходя перед этим через промежуточный минимум. Из-за ограниченности жизненного цикла исследованных можжевельников и для продолжения зависи-

мости, представленной на рис. 4, нами использовались ранее полученные данные об АПО в хвое более высоковозрастных образцов можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), также произрастающих в северной подзоне тайги Архангельской области.

Дальнейший рост АПО продолжается до возраста 90 лет. По достижении 90...110 лет в древесине можжевельника отмечается снижение общего содержания лигнина, но при этом запас экстрактивных веществ резко возрастает [4]. По-видимому, это связано с нарушением окислительно-восстановительного баланса и преобладанием окислительных и дегидрогенизационных процессов, а также с образованием хинонных форм при достижении можжевельником возраста зрелой древесины.

#### Выводы

1. При относительно ровном течении климатических факторов северной подзоны тайги динамика сезонных изменений АПО в хвое можжевельника зависит от пола растения и стадии репродуктивного развития.
2. Определяющее воздействие на АПО в хвое можжевельника оказывает возраст дерева.
3. АПО в хвое можжевельника может быть использована в качестве диагностического признака жизненного состояния можжевеловых деревьев.

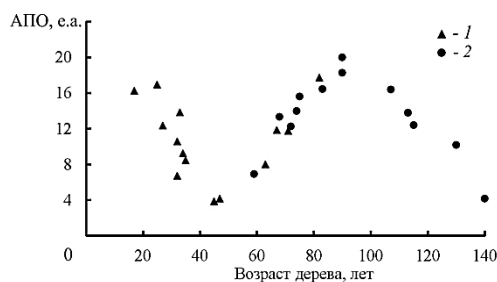


Рис. 4. Возрастная изменчивость средних значений АПО в хвое можжевельника: 1 – Ижма, 2 – северная тайга

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.Г., Кершенгольц Б.М., Попов А.А. О характере изменения свойств пероксидазы при адаптации растений к экстремальным условиям Севера // Физиология растений. 1983. № 6. С. 1094–1101.
2. Андреева В.А. Фермент пероксидаза: Участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. 128 с.
3. Барзут О.С. Эколого-географическая изменчивость можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) в лесах Архангельской области: автореф. ... канд. с-х. наук. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 18 с.
4. Влияние абиотических факторов на формирование лигноуглеводной матрицы древесины можжевельника / И.Н. Зубов [и др.] // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 113–120. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Горшкова Т.А. Биогенез растительных волокон / Под ред. Т.А. Горшковой; Казан. ин-т биохимии и биофизики КазНЦ. М.: Наука, 2009. 260 с.
6. Структурно-функциональные особенности изопероксидаз растений / И.В. Максимов [и др.] // Биохимия. 2011. Т. 76, № 6. С. 749–763.
7. Сурсо М.В., Барзут О.С. Особенности роста и развития хвойных в Большеземельской тундре. Можжевельник в урочище Пым-Ва-Шор // Лесн. вестник / МГУЛ. 2010. № 6 (75). С. 18–21.
8. Сурсо М.В. Лесообразующие хвойные Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 256 с.
9. Bergmeyer H.U. Methods of enzymatic analysis. I Academic Press New York, 2nd Edition, 1974. 495 p.
10. Biotechnology in trees: Towards improved paper pulping by lignin engineering / C.Y. Chen, M. Baucher, J.H. Christensen, W. Boergan // Euphytica. 2001. Vol. 118. P.185–195.
11. Cosio C., Dunand C. Specific functions of individual class III peroxidase genes // Journal of Experimental Botany. 2009. Vol. 60. P. 391–408.
12. Enhanced ethylene production and peroxidase activity in IAA-overproducing transgenic tobacco plants is associated with increased lignin content and altered lignin composition // F. Sitbon, S. Hennion, C.H.A. Little, B. Sundberg // Plant Science. 1999. Vol. 141. P.165–173.
13. Galves-Valdivieso, Mullineaux P.M G. The role of reactive oxygen species in signalling from chloroplasts to the nucleus // Phisiol. Plant. 2010. Vol. 138. P. 430–439.
14. Lehner G. Cardemil L. Differences in wound-induced changes in cell-wall peroxidase activities and isoform patterns between seedlings of *Prosopis tamarugo* and *Prosopis chilensis* // Tree Phisiology. 2003. Vol. 23. P. 443–452.
15. Morkunas I., Gmerek J. The possible involvement of peroxidase in defense of yellow lupine embryo axes against *Fusarium oxysporum* // Journal of Plant Phisiology. 2007. Vol.164. P.185–194.
16. Pan-Arctic variation in *Juniperus communis*: historical biogeography based on DNA fingerprinting / R.P. Adams [et al.] // Biochemical Systematics and Ecology. 2003. N 31. P. 181–192.
17. Preparation and Application of Cd Te Nanocrystals / H. Zhao, B.C. Wang, H.C. Zhao, J.B. Wang // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2005. Vol. 44. P. 36–40.

18. Reactive oxygen species generation and peroxidase activity during *Oidium neolycopersici* infection on *Lycopersicon* species / K. Mlickova [et al.] // *Plant Physiol. Biochem.* 2004. Vol. 42. P. 753–761.

19. Wyrwicka A., Sklodowska M. Influence of repeated acid rain treatment on antioxidative enzyme activities and on lipid peroxidation in cucumber leaves // *Environmental and Experimental Botany.* 2006. Vol. 56. P. 198–204.

20. Vermerris W., Nicholson R. *Phenolic Compound Biochemistry* Published by Springer, 2006. 280 p.

Поступило 03.12.12

*K.G. Bogolitsyn, M.V. Surso, M.A. Gusakova, I.N. Zubov*

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences

**Peroxidase Activity Within the Needles of Common Juniper (*Juniperus Communis* L.):  
Dynamics of Seasonal and Age-Related Changes**

During growth and development of woody plants their composition changes and, consequently, properties and structure of a plant, together with enzymatic complexes, change too, being integral parts of the living cell. One of the most important and common enzymes of higher plants is peroxidase. Age-related changes in peroxidase activity and lignin content are of a similar nature, but seasonal variations in the enzyme can level the age dynamics. The paper aimed to determine seasonal variations in peroxidase activity of juniper needles and evaluate their contribution to the age dynamics.

It was shown that the dynamics of seasonal changes in peroxidase activity of juniper needles depends on the plant's gender and stage of reproductive development. Ripening of the berry-like cones is accompanied by increasing peroxidase activity; however the age of juniper is a determinant of this parameter value.

*Keywords:* enzymatic activity, peroxidase, seasonal variations, age-related dynamics, juniper.

---

УДК.630.8.

**Е.В. Петренко<sup>1</sup>, В.Н. Паршикова<sup>1</sup>, Р.А. Степень<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Сибирский федеральный университет

<sup>2</sup>Сибирский государственный технологический университет

Петренко Елена Валерьевна окончила в 2006 г. Красноярский государственный торгово-экономический институт, аспирант, ассистент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров торгово-экономического института Сибирского федерального университета. Имеет более 5 печатных работ в области товароведения и технологии эфирных масел и экстрактов, экологии.  
E-mail: 83794@g-service.ru

Паршикова Валентина Никитична окончила в 1972 г. Сибирский государственный технологический университет, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров, проректор по учебно-методической работе торгово-экономического института Сибирского федерального университета. Имеет более 300 печатных работ в области товароведения и экспертизы товаров, товароведения и технологии эфирных масел и экстрактов, экологии.  
E-mail: pvn@kgtel.ru

Степень Роберт Александрович родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Сибирский технологический институт, доктор биологических наук, профессор кафедры промышленной экологии Сибирского государственного технологического университета, академик РАН. Имеет более 200 печатных работ в области экологии.  
E-mail: Stepen.rob@yandex.ru

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ПИХТЫ И ЕЛИ**

Оценена возможность совместной переработки древесной зелени пихты и ели путем сопоставления динамики содержания липидов и их некоторых компонентов. Показана целесообразность такого подхода за исключением производства, единственной продукцией которого является получение эфирного масла.

*Ключевые слова:* древесная зелень, пихта, ель, липиды, пигменты, эфирное масло.

В связи с частым произрастанием пихты и ели на одной площади осуществляется их совместная рубка, практически единственной целью которой является заготовка стволовой древесины. При этом на лесосеке остается около половины биомассы дерева, до 30 % от этого количества приходится на древесную зелень [7]. Ее переработка позволяет в несколько раз повысить отдачу лесного гектара [15]. В Сибири до настоящего времени реализовано лишь пихтоварение. Стоимость заготовки в пихтово-еловых древостоях возрастает в связи с необходимостью сортировки древесной зелени. Совместная переработка охвоенных побегов пихты и ели снижает затраты и упрощает сбор сырья. Эффективность этого показана при организации комплексной переработки древесной зелени сосны и ели путем водно-бензинового экстрагирования

[14]. Целесообразность такого подхода в производстве эфирного масла установлена и при утилизации охвоенных побегов пихты белокорой и ели аянской [2], а также при совместной переработке лесосечных отходов темнохвойных пород в Сибири [9]. Все это свидетельствует о практической значимости изучения этого вопроса.

В данной статье проанализированы результаты совместной переработки древесной зелени пихты и ели Красноярской лесостепи с получением эфирного масла и экстракционных продуктов, оценена ее целесообразность.

Охвоенные побеги пихты и ели отбирали в середине каждого месяца со средней части крон 12 нормально развитых спелых (100...110 лет) и перестойных (140...150 лет) деревьев в елово-пихтовых массивах молодняка (15...20 лет), произрастающего в 85 км западнее г. Красноярска.

Древесную зелень измельчали до частиц размером 3...5 мм, перемешивали и отбирали пробы, в которых в двукратной повторности определяли влажность, содержание липидов, эфирного масла и пигментов.

Вклад компонентов древесной зелени оценивали общепринятыми стандартными методами [12], влажность древесной зелени – по убыли массы навески при температуре  $105 \pm 2$  °С. Экстрагирование липидов проводили в аппарате Сокслета диэтиловым эфиром с определением выхода продуктов гравитометрически. Содержание эфирного масла находили волюмометрически, компонентный состав – методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ), концентрацию хлорофиллов и каротиноидов – спектрофотометрически.

Сведения о липидах древесной зелени хвойных пород и их компонентах, как основной части экстрактов, приводятся во многих работах [5, 13, 14 и др.]. В некоторых из них обсуждается также изменчивость в течение года структуры липидных веществ хвои ели и пихты разных лет жизни [4, 5]. Кроме того, важно, чтобы сырье было проанализировано одним исполнителем. Результаты количественного определения липидов древесной зелени молодняка пихты и ели для разного времени года приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Сезонные изменения содержания липидов (% от абс. сухой массы)  
в охвоенных побегах пихты и ели

Месяц	Пихта	Ель	Месяц	Пихта	Ель
Январь	11,6±0,4	9,2±0,3	Сентябрь	15,6±0,3	13,3±0,3
Февраль	12,3±0,5	10,1 ±0,3	Октябрь	14,6±0,4	11,6±0,3
Март	14,4±0,3	10,8±0,4	Ноябрь	12,1±0,3	9,8±0,2
Апрель	16,7±0,5	11,5±0,2	Декабрь	10,8±0,3	9,5±0,2
Май	17,0±0,4	12,4±0,2	$\bar{x} \pm m$	13,5±0,7	10,8±0,4
Июнь	13,8±0,6	10,6±0,3	$\sigma_x$	2,34	1,34
Июль	9,3±0,4	9,0±0,4	V, %	17,3	12,4
Август	13,5±0,4	11,7±0,3			

Данные табл. 1 свидетельствуют о близком содержании липидов в древесной зелени сравниваемых пород и их одинаковой годичной динамике. Вклад этих соединений в охвоенных побегах ели практически такой же, как у пихты. Это дает основание для вывода о целесообразности совместной переработки сырья и, следовательно, о его совместной заготовке.

Однако достаточно высокие значения коэффициентов варьирования, обусловленные, главным образом, низким вкладом липидов в декабре-январе и июле, свидетельствуют о неэффективности переработки древесной зелени в эти периоды.

Для решения вопроса о влиянии возраста деревьев на вклад липидов во второй декаде июля 2009 г., когда их содержание примерно соответствует среднегодовому, отобраны образцы охвоенных побегов деревьев ели и пихты разного возраста (молодняки, спелые и перестойные). В отобранных образцах содержание липидов соответственно составило 14,1; 10,7; 8,7 и 11,4; 6,5; 5,0 %. Полученное снижение содержания липидов объективно объясняется уменьшением в процессе онтогенеза доли хвои в древесной зелени, увеличением в ней доли элементов старших возрастов [8]. Известно, что при одревеснении органов дерева в них повышается доля полисахаридов и лигнина и снижается доля низкомолекулярных компонентов [5]. Сравнение результатов исследований свидетельствует, что лучшим сырьем при комплексной переработке является древесная зелень молодняков. В ней содержится в 1,2–2 раза больше липидов, чем в охвоенных побегах спелых и перестойных деревьев. Переработка древесной зелени молодняка ели выгоднее, чем утилизация зелени спелых и перестойных деревьев пихты. Однако, судя по содержанию в сырье липидов, целесообразней перерабатывать охвоенные побеги перестойных деревьев пихты, чем спелых экземпляров ели.

Не меньшее значение имеет качественный состав липидов, прежде всего содержание биологически активных веществ (БАВ), среди которых важное место принадлежит пигментам и эфирному маслу.

На высокую биологическую активность пигментов и актуальность их использования указывают многие авторы [4, 5, 13, 15]. Их содержание в древесной зелени молодняка для разного времени года приведено в табл. 2.

Полученные данные согласуются с результатами исследований пигментов охвоенных побегов хвойных сибирских пород [1, 5, 13]. Различие в насыщенности хлорофиллом хвои пихты и ели составляет всего 5,3 %. Более существенно оно для каротиноидов, но их в составе пигментов всего около 11 %. Общее содержание пигментов в древесной зелени этих пород отличается в среднем менее чем на 10 % отн., что ниже их варьирования в отдельные месяцы года.

Вместе с тем годичная динамика пигментов и общих липидов заметно отличается. Если максимум первых отмечается в ноябре-декабре, когда вклад

Таблица 2

**Годичная динамика содержания пигментов (мг/кг абс. сухой массы)  
в древесной зелени пихты и ели**

Месяц	Пихта			Ель		
	Хлорофиллы	Каротиноиды	Пигменты	Хлорофиллы	Каротиноиды	Пигменты
Январь	1789±21	296±10	2085	1618±18	189±8	1807
Февраль	1584±19	291±13	1878	1461±11	180±9	1614
Март	1688±11	183±11	1971	1603±10	189±8	1792
Апрель	1764±21	305±15	2069	1709±13	210±8	1918
Май	1525±15	267±8	1792	1588±18	181±11	1789
Июнь	1485±20	199±11	1684	1455±11	144±13	1599
Июль	1706±12	173±9	1879	1535±11	130±9	1665
Август	1822±11	215±9	2037	1691±14	120±8	1811
Сентябрь	1963±19	241±11	2204	1820±13	145±9	1965
Октябрь	2055±16	286±10	2336	1987±10	156±11	2143
Ноябрь	2223±12	293±14	2516	2132±13	177±12	2309
Декабрь	1832±15	301±10	2133	1768±11	194±12	1962
<i>x±m</i>	1786±62	263±13	2049±67	1695±60	168±8	1863±61
$\sigma_x$	215	45	233	208	28	212
V, %	12,1	17,0	11,4	12,6	16,8	11,4

липидов существенно снижается, то последних – в апреле-мае. Однако, в апреле-мае содержание липидов также высокое, что свидетельствует об эффективности утилизации рассматриваемого сырья в этот период.

Важная роль как в плане физиологии, так и в прикладном плане принадлежит эфирным маслам, процент которых в древесной зелени сибирских пород изменяется от 3,0...4,0 (пихта) до 0,3...0,4 (лиственница). В связи с этим их доля в липидном комплексе ассимиляционных органов хвойных деревьев различается в несколько раз [5, 11, 13]. В полной мере это относится к пихте и ели. При этом доля эфирного масла существенно изменяется как в годичном цикле, так и в ходе онтогенетического развития.

Годичная динамика содержания эфирного масла в древесной зелени пихты и ели изменяется существенным образом (табл. 3).

Таблица 3

**Изменчивость содержания эфирного масла (% от абс. сухой от массы)  
в древесной зелени молодняка пихты и ели**

Месяц	Пихта	Ель	Месяц	Пихта	Ель
Январь	2,18	0,54	Сентябрь	3,52	0,83
Февраль	2,25	0,56	Октябрь	3,17	0,71
Март	2,31	0,66	Ноябрь	2,67	0,65
Апрель	2,79	0,70	Декабрь	2,03	0,60
Май	3,35	0,71	<i>x±m</i>	7,73±0,13	0,65±0,03
Июнь	2,71	0,55	$\sigma_x$	0,465	0,083
Июль	2,82	0,65	V, %	16,9	12,7
Август	2,95	0,68			

Как видно из табл. 3, динамика запасов эфирного масла в охвоенных побегах обеих пород одинакова. Их максимальные запасы отмечены в сентябре-октябре, минимальные – в декабре-январе, когда их доля в сырье снижается в 1,5–1,7 раза. Расхождение между этими породами на протяжении года, за исключением зимних месяцев и июня, не отличается существенным образом.

Большее практическое значение при переработке древесной зелени с получением пихтового масла имеет возраст древостоев. Его вклад для молодняков пихты и ели составил соответственно  $3,07 \pm 0,09$  и  $0,67 \pm 0,03$  %, для спелых древостоев –  $2,16 \pm 0,12$  и  $0,33 \pm 0,03$  %, для спелых фитоценозов –  $1,23 \pm 0,08$  и  $0,25 \pm 0,04$  %. Насыщенность терпеноидами охвоенных побегов молодняков в 2,5–2,7 раза выше по сравнению с перестойными деревьями, еще значительнее она по породному составу (4,6– 6,5 раз). По этой причине переработка древесной зелени перестойных деревьев пихты выгоднее, чем охвоенных побегов молодняка ели. Отсюда следует, что в технологиях, где главным товарным продуктом являются эфирные масла, совместная переработка древесной зелени пихты и ели нерациональна. Фактически это означает, что при совместной загрузке объем рабочего аппарата используется лишь наполовину.

В отличие от выхода компонентный состав пихтового и елового эфирных масел и его изменчивость в течение года и при старении деревьев близки. Основу масел составляют монотерпеновые углеводороды, на долю которых приходится более 60 % от их суммы. Среди них превалирует камфен, характерный для всей трибы пихтовых [3]. Значительная доля в монотерпеновой фракции принадлежит пиненам, лимонену и фелландрену. Суммарный вклад этих соединений в ней составляет свыше 80 %, они то и определяют ее потребительские и физико-химические свойства.

Наибольший вклад в кислородосодержащую фракцию (до 80 %) и в эфирное масло (30 % и выше) обеих пород вносит борнилацетат, содержание которого обуславливает сорт и ценность пихтового масла. При этом его соотношение с другими компонентами для спелых и перестойных деревьев в еловом масле выше, чем в пихтовом. Другие показатели елового масла также находятся в соответствии с ОСТ 13-221–86, разработанным для пихтового масла. Высокое содержание борнилацетата, близкий состав и соответствие нормативам не противоречат совместному использованию этих пород в производстве эфирного масла. Более того, для повышения его качества при перегонке эфирного масла из охвоенных побегов спелых и перестойных деревьев пихты целесообразно добавлять к ним древесную зелень молодняка ели.

Представительство сесквитерпеноидов в пихтовом, еловом и смешанных эфирных маслах незначительно (2...4 % от общей суммы). Основными компонентами этой фракции являются лонгифолен, кариофиллен и бизаболен.

Целесообразность совместной переработки древесной зелени пихты и ели существенно возрастает, если в качестве товарных продуктов, наряду с эфирным маслом, вырабатывать и хвойный экстракт. Он получается при кон-



центрировании кубового раствора, образующегося за счет вымывания конденсирующимся паром водорастворимых продуктов из сырья, до плотности  $1,25 \text{ г/см}^3$ . Их содержание в кубовом конденсате, скапливаемом при переработке охвоенных побегов пихты, составляет  $8,83 \pm 0,44 \%$ , ели –  $8,61 \pm 0,51 \%$ , т. е. практически одинаково. Незначительные расхождения отмечены и при анализе этих продуктов в конденсатах древесной зелени деревьев пихты и ели старших возрастов. Результаты исследований свидетельствуют, что эти продукты нетоксичны, успешно используются в качестве добавок в кормах для птиц и животных и полезны для оздоровления воздушной среды помещения [6, 10, 13]. Согласно проведенным расчетам, их выработка существенно увеличивает рентабельность производства.

Полученные данные подтверждают целесообразность совместной заготовки и переработки древесной зелени пихты и ели. Менее оправдан такой подход в производстве эфирного масла, когда этот продукт является единственной товарной продукцией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Г.А. Биологически активные вещества в хвое и листьях древесных пород Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1975. 16 с.
2. Караваев С.В. Производство эфирного масла из отходов лесопромышленного комплекса Приморского края // Лесн. журн. 2008. № 1. С. 128–132. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Кинтя П.К., Фадеев Ю.М., Акимов Ю.А. Терпеноиды растений. Кишинев: Штиинца, 1990. 151 с.
4. Лебедева О.И., Тихомирова Г.В., Репях С.М. Липиды древесной зелени пихты и ели // Проблемы использования древесной зелени в народном хозяйстве СССР. Л.: ЛТА, 1984. С. 34–55.
5. Левин Э.Д., Репях С.М. Переработка древесной зелени. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 120 с.
6. Лобанов В.В., Степень Р.А. Древесная зелень – источник ценной продукции. Красноярск: СибГТУ, 2004. 68 с.
7. Мосягин В.И. Вторичные ресурсы лесного комплекса. СПб.: СПбЛТА, 1998. 232 с.
8. Поздняков Л.К. Продуктивность лесов Сибири // Ресурсы биосферы. Л.: ЛТА, 1975. С. 43 – 45.
9. Рекомендации по модернизации пихтоваренных установок и увеличению производства пихтового масла на предприятиях Минлесбумпрома СССР / Г.В. Ляндрес [и др.] Красноярск: СибНИИЛП, 1986. 51 с.
10. Репях С.М., Рубчевская Л.П. Химия и технология переработки древесной зелени. Красноярск: КГТА, 1994. 320 с.
11. Степень Р.А., Репях С.М. Летучие терпеноиды сосновых лесов. Красноярск: СибГТУ, 1998. 406 с.
12. Ушанова В.М., Лебедева О.И., Девятловская А.Н. Основы научных исследований. Ч. 3. Красноярск: СибГТУ, 2004. 360 с.

13. Черняева Г.Н., Долгодворова С.Я., Степень Р.А. Утилизация древесной биомассы. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. 166 с.

14. Юдкевич Ю.Д., Васильев С.М., Ягодин В.И. Получение химических продуктов из древесных отходов. СПб.: СПбЛТА, 2002. 84 с.

15. Ягодин В.И., Евтюгин Д.В., Левенталь Ю.К. Промышленная технология переработки древесной зелени и пути ее дальнейшего развития // Производство кормовых и биологических активных продуктов из отходов и низкокачественного древесного сырья. Красноярск: СибНИИЛП, 1990. С. 42–47.

Поступила 05.02.10

*E.V. Petrenko<sup>1</sup>, V.N. Parshikova<sup>1</sup>, R.A. Stepen<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Siberian Federal University

<sup>2</sup>Siberian State Technological University

#### **Efficiency of Co-Processing of Wood Green of Fir and Spruce**

The possibility of co-processing of wood green of fir and spruce was evaluated by comparing the dynamics of lipids and some of their components of the annual cycle. The efficiency of this approach is proved, with the exception of production having essential oil as its only product.

*Keywords:* wood green, fir, spruce, lipids, pigments, essential oil.

---

УДК 676.051.32

**С.Н. Вихарев**

Уральский государственный лесотехнический университет

Вихарев Сергей Николаевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский государственный лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования целлюлозно-бумажных производств Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет около 150 печатных работ в области динамики оборудования ЦБП.  
E-mail: cbp200558@mail.ru

### ОСЕВЫЕ СИЛЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАЗМОЛЕ В ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Цель статьи – исследование осевых сил, возникающих при размоле в ножевых размалывающих машинах. Решается задача разработки методики для определения этих сил.

Осевые силы, как правило, имеют неравномерное распределение в зоне размола из-за неравномерности зазора между ротором и статором и вязкоупругих свойств волокнистой прослойки. Ранее эти силы определялись только при равномерном распределении давления в зоне размола и без учета переменных составляющих силы. Разработана методика расчета осевых сил и мощности привода мельниц с учетом вышеназванных факторов. Эта методика рекомендована для расчета ножевых размалывающих машин.

*Ключевые слова:* осевые силы, мельница, распределение давления.

Исследования, проведенные автором [1] и другими учеными [2], показали наличие постоянных  $F_{y1}$  и переменных  $F_{y2}$  составляющих осевой силы. Осевая сила со стороны полуфабриката на диск

$$F_y^n = F_{y1}^n + F_{y2}^n, \quad (1)$$

где  $n$  – число гармоник и субгармоник гарнитурных частот.

Исследования [1, 2] показали, что при уменьшении номинального зазора  $S_{\text{НОМ}}$  между ротором и статором возрастают постоянная  $F_{y1}^n$  и переменная  $F_{y2}^n$  составляющие осевой силы  $F_y^n$ . При размоле волокнистых полуфабрикатов это происходит практически линейно [1, 3], т. е.

$$F_{y1}^n = bS_{\text{НОМ}} - a; \quad (2)$$

$$F_{y2}^n = \sum_{i=1}^n (d_i S_{\text{НОМ}} - c_i) \cos \omega_{\Gamma i} t, \quad (3)$$

где  $a, b$  – коэффициенты процесса размола;

$d_i, c_i$  –  $i$ -й коэффициент процесса размола;

$\omega_{\Gamma i}$  –  $i$ -ая гармоника или субгармоника гарнитурной частоты.

Коэффициенты  $a, b, d_i, c_i$  зависят от факторов процесса размола. В зависимости от направления действия осевой силы коэффициенты  $a, c_i$  могут быть положительными или отрицательными.

Подставляем уравнения (2) и (3) в (1):

$$F_y^n = bS_{\text{НОМ}} - a + \sum_{i=1}^n (d_i S_{\text{НОМ}} - c_i) \cos \omega_{\Gamma i} t; \quad (4)$$

в то же время со стороны диска на полуфабрикат действует сила  $F_y^M = C_s X$ :

$$C_s = \begin{pmatrix} C_{11} & 0 & 0 & -C_{12} \\ 0 & C_{11} & C_{12} & 0 \\ 0 & C_{21} & C_{22} & 0 \\ -C_{21} & 0 & 0 & C_{22} \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$X = \begin{pmatrix} x \\ z \\ \varphi \\ \theta \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где  $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$  – коэффициенты жесткости модели мельницы;

$x, z$  и  $\varphi, \theta$  – соответственно линейные и угловые перемещения диска мельницы.

На рис. 1 показана модель мельницы в декартовой системе координат  $OXYZ$ , находящейся в пространстве (т. С – геометрический центр ротора мельницы). Система координат  $sxyz$  вращается вместе с ротором с частотой  $\omega$  ( $r, \eta$  – полярные координаты).

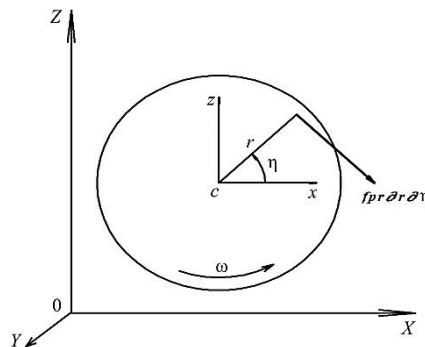


Рис. 1. Модель мельницы

Соотношение между двумя декартовыми системами можно записать в следующем виде [3]:

$$\begin{pmatrix} X \\ Z \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_c \\ Z_c \\ Y_c \end{pmatrix} + R_1 R_2 \begin{pmatrix} x \\ z \\ y \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где 
$$R_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{vmatrix}; \quad (8)$$

$$R_2 = \begin{vmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Используя модуль трения Кулона, результирующие силы и моменты, возникающие при давлении  $p$  и коэффициенте трения между дисками  $f$ , в координатах  $OXYZ$  можно записать как

$$\begin{pmatrix} F_x^n \\ F_z^n \\ F_y^n \end{pmatrix} = R_1 R_2 \begin{pmatrix} \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} f p r \sin \eta \partial r \partial \eta \\ - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} f p r \cos \eta \partial r \partial \eta \\ - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} p r \partial r \partial \eta \end{pmatrix}; \quad (10)$$

$$\begin{pmatrix} M_{pX} \\ M_{pZ} \\ M_{pY} \end{pmatrix} = R_1 R_2 \begin{pmatrix} - \int_0^{2\pi} p r^2 \sin \eta \partial r \partial \eta \\ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} p r^2 \cos \eta \partial r \partial \eta \\ - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} f p r^2 \partial r \partial \eta \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где  $r_1, r_2$  – начальный и конечный радиусы зоны размола гарнитуры.

Давление при размоле может быть и неравномерным, например при перекосе статора (рис. 2, *а*), и равномерным (рис. 2, *б*). При этом результирующая сила имеет эксцентриситет.

При этом давление в зоне размола можно представить как

$$p = (\delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta)S) + \left( \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta)S) \cos \omega_{ri} t \right), \quad (12)$$

где  $\delta_1(r, \eta), \delta_2(r, \eta), \delta_{3i}(r, \eta), \delta_{4i}(r, \eta)$  – функции распределения давления в зоне размола;

$S$  – зазор между ротором и статором,

$$S = S_{\text{ном}} + r(\cos \varphi \sin \theta \cos \eta - \sin \varphi \sin \eta); \quad (13)$$

$t$  – время.

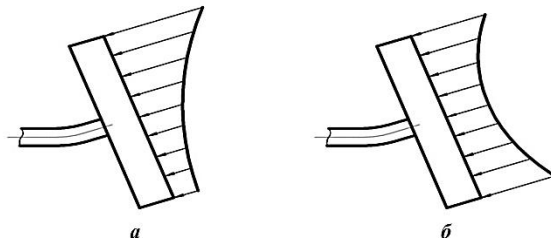


Рис. 2. Распределение давления в зоне размола:  
*а* – неравномерное; *б* – равномерное

Подставляя уравнения (12) и (13) в (10) и пренебрегая малыми углами, получаем

$$F_y^n = - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_1(r, \eta) \partial r \partial \eta + \left[ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_2(r, \eta) \partial r \partial \eta \right] S_{\text{НОМ}} - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \sum_{i=1}^n r [\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{НОМ}}] \cos(\omega_{\Gamma i} t) \partial r \partial \eta. \quad (14)$$

Уравнения (4) и (14) описывают одну и ту же силу  $F_y^n$ , откуда имеем

$$a = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_1(r, \eta) \partial r \partial \eta; \quad (15)$$

$$b = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_2(r, \eta) \partial r \partial \eta; \quad (16)$$

$$c_i = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_{3i}(r, \eta) \partial r \partial \eta; \quad (17)$$

$$d_i = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} r \delta_{4i}(r, \eta) \partial r \partial \eta. \quad (18)$$

Подставляя уравнения (12) и (13) в (10) и (11) и пренебрегая малыми углами, получаем

$$-F_x^n = V_1 \varphi + V_2 \theta - l_x; \quad (19)$$

$$-F_z^n = V_3 \varphi + V_4 \theta - l_z; \quad (20)$$

$$-M_{px} = V_5 \varphi + V_6 \theta - l_\varphi; \quad (21)$$

$$-M_{pz} = V_7 \varphi + V_8 \theta - l_\theta, \quad (22)$$

где

$$V_1 = -f \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left( \delta_2(r, \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{4i}(r, \eta) \cos(\omega_{\Gamma i} t) \right) r^2 \sin^2 \eta \partial r \partial \eta; \quad (23)$$

$$V_2 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) (S_{\text{НОМ}} - fr \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) (S_{\text{НОМ}} - fr \cos \eta \sin \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \partial r \partial \eta; \quad (24)$$

$$V_3 = - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) (S_{\text{НОМ}} + fr \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) (S_{\text{НОМ}} + fr \cos \eta \sin \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \partial r \partial \eta; \quad (25)$$

$$V_4 = -f \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_2(r, \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{4i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \cos^2 \eta \partial r \partial \eta; \quad (26)$$

$$V_5 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_2(r, \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{4i}(r, \eta) \cos \omega_{ri} t \right] r^3 \sin^2 \eta \partial r \partial \eta; \quad (27)$$

$$V_6 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} [f \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta)(f S_{\text{HOM}} + r \cos \eta \sin \eta) + \\ + \sum_{i=1}^n f \delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta)(f S_{\text{HOM}} + r \cos \eta \sin \eta) \cos \omega_{ri} t] r^2 \partial r \partial \eta; \quad (28)$$

$$V_7 = - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} [f \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta)(f S_{\text{HOM}} - r \cos \eta \sin \eta) + \\ + \sum_{i=1}^n f \delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta)(f S_{\text{HOM}} - r \cos \eta \sin \eta) \cos \omega_{ri} t] r^2 \partial r \partial \eta; \quad (29)$$

$$V_8 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_2(r, \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{4i}(r, \eta) \cos \omega_{ri} t \right] r^3 \cos^2 \eta \partial r \partial \eta; \quad (30)$$

$$l_x = f \left\{ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{HOM}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{HOM}}) \cos \omega_{ri} t \right] r \sin \eta \partial r \partial \eta \right\}; \quad (31)$$

$$l_z = -f \left\{ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{HOM}} + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{HOM}}) \cos \omega_{ri} t \right] r \cos \eta \partial r \partial \eta \right\}; \quad (32)$$

$$l_\varphi = - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{HOM}} + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{HOM}}) \cos \omega_{ri} t \right] r^2 \sin \eta \partial r \partial \eta; \quad (33)$$

$$l_\theta = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{HOM}} + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{HOM}}) \cos \omega_{ri} t \right] r^2 \cos \eta \partial r \partial \eta. \quad (34)$$

Матрица жесткости модели волокнистой прослойки:

$$C_p(t) = \begin{vmatrix} 0 & 0 & V_1 & V_2 \\ 0 & 0 & V_3 & V_4 \\ 0 & 0 & V_5 & V_6 \\ 0 & 0 & V_7 & V_8 \end{vmatrix}.$$

Момент сопротивления вращению роторного диска:

$$M_{py} = -f \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) + \delta_2(r, \eta) S_{\text{НОМ}} - \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) - \delta_{4i}(r, \eta) S_{\text{НОМ}}) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \partial r \partial \eta.$$

Мощность привода мельницы:

$$P = \frac{M_{py} \omega}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $\eta_{\text{п}}$  – коэффициент полезного действия привода.

Давление при равномерном распределении в зоне размола (см. рис. 2, б):

$$p = (\delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S) + \sum_{i=1}^n (\delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t).$$

Коэффициенты уравнений (23) – (30) могут быть упрощены:

$$V_1 = -f \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \delta_2(r, \eta) r^2 \sin^2 \eta \partial r \partial \eta;$$

$$V_2 = \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) (S_{\text{НОМ}} - fr \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \alpha) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \partial r \partial \eta;$$

$$V_3 = - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \alpha) (S_{\text{НОМ}} - fr \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \partial r \partial \eta;$$



$$\begin{aligned}
 V_4 &= -f \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \delta_2(r, \eta) r^2 \cos^2 \eta \partial r \partial \eta; \\
 V_5 &= \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \delta_2(r, \eta) r^3 \sin^2 \eta \partial r \partial \eta; \\
 V_6 &= \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ f \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) (f S_{\text{НОМ}} + \right. \\
 &\quad \left. + r \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n f \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \partial r \partial \eta; \\
 V_7 &= - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ f \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) (f S_{\text{НОМ}} - \right. \\
 &\quad \left. - r \cos \eta \sin \eta) + \sum_{i=1}^n f \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \partial r \partial \eta; \\
 V_8 &= \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \delta_2(r, \eta) r^3 \cos^2 \eta \partial r \partial \eta.
 \end{aligned}$$

Так же упрощаются уравнения (31) – (34):

$$\begin{aligned}
 l_x &= f \left\{ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{НОМ}} + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \sin \eta \partial r \partial \eta \right\}; \\
 l_z &= -f \left\{ \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{НОМ}} + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r \cos \eta \partial r \partial \eta \right\}; \\
 l_\varphi &= - \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{НОМ}} + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \sin \eta \partial r \partial \eta; \\
 l_\theta &= \int_0^{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \left[ \delta_1(r, \eta) - \delta_2(r, \eta) S_{\text{НОМ}} + \sum_{i=1}^n \delta_{3i}(r, \eta) \cos \omega_{\Gamma i} t \right] r^2 \cos \eta \partial r \partial \eta.
 \end{aligned}$$

Предлагаемая методика рекомендуется для расчета осевых сил и мощности привода дисковой мельницы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вихарев С.Н. Экспериментальные исследования процесса размола при помощи вибрации на гарнитуре статора // Машины и аппараты ЦБП: межвуз. сб. научн. тр. Л.: ЛТА, 1990. С. 29–33.

2. Легоцкий С.С., Гончаров В.И. Размалывающее оборудование и подготовка бумажной массы. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 224 с.

3. Genta G., Delprete and Busa C. Some considerations on the basic assumptions in rotordynamics // Journal of Sound and Vibration. 1999. 227. P. 611–645.

Поступила 22.03.10

*S.N. Vikharev*

The Ural State Forest Engineering University

### **Axial for Ces Generated in the Disk Mill at Grinding**

The paper aimed to research the axial forces generated in cutting mills at grinding. The author's aim was to develop a technique to define these forces. As a rule, axial forces have non-uniform distribution in the grinding zone because of a non-uniform clearance between the rotor and stator and viscoelastic properties of the fibrous layer. Earlier these forces could be defined in the grinding zone only at uniform pressure distribution and without taking into account variable components of force. The paper presents a method of calculating axial forces and driving power of mills in view of the above mentioned factors. This method is recommended for cutting mills.

*Keywords:* axial forces, mill, pressure distribution.

---

УДК 676.1.054.1

**М.А. Зырянов, Н.Г. Чистова**

Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета

Зырянов Михаил Алексеевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета, аспирант, старший преподаватель кафедры ИТС Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 40 печатных работ в области снижения энергетических затрат на получение древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве древесноволокнистых плит.  
E-mail: zuryanov13@mail.ru

Чистова Наталья Геральдовна окончила в 1984 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ЛИД Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Имеет более 130 печатных работ в области комплексного использования древесного сырья и переработки древесных отходов в производстве древесноволокнистых плит.  
E-mail: chistova@lfsibgtu.ru

## **ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ ПРИ ОДНОСТУПЕНЧАТОМ РАЗМОЛЕ ЩЕПЫ**

Как известно, при производстве древесноволокнистых плит мокрым способом значительное влияние на физико-механические показатели готовой плиты оказывают качественные и морфологические характеристики древесного полуфабриката. На сегодняшний день не имеется исчерпывающих знаний о влиянии качественных и морфологических характеристик древесного волокна на процесс структурообразования древесноволокнистой плиты.

Целью настоящих исследований являлось установление влияния свойств древесноволокнистого полуфабриката на качественные показатели готовой плиты. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

обосновано структурообразование плиты из древесноволокнистого полуфабриката, полученного в одну ступень размола, и оценены морфологические характеристики составляющих его фракций;

установлено влияние основных технологических и конструктивных параметров размалывающей установки на процесс подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов и получение готовой плиты.

Исследования выполнены при варьировании технологических и конструктивных параметров размольной установки с последующим анализом полученного древесного волокна.

Представлены результаты исследований влияния режимных параметров размалывающей машины на морфологические характеристики древесного волокна и структурообразование готовой плиты.

*Ключевые слова:* размол, древесноволокнистый полуфабрикат, технологическая щепка, фибриллплазма, мельштофф, древесное волокно, степень помола, фракционный состав.

---

© Зырянов М.А., Чистова Н.Г., 2013

В производстве древесноволокнистых плит (ДВП) мокрым способом основной операцией является предварительная подготовка исходного полуфабриката, т. е. размол сырья. Как известно, это один из наиболее энергоемких этапов изготовления ДВП, потребляющий до 65 % от всех затрат электроэнергии предприятия [2].

На сегодняшний день в производстве ДВП мокрым способом древесную массу получают из термически обработанной щепы размолем ее в две ступени [1]. Одним из перспективных направлений снижения энергетических и трудовых затрат на получение древесноволокнистых полуфабрикатов является размол в одну ступень.

В данной работе исследованы древесноволокнистые полуфабрикаты, изготовленные как традиционно в две ступени на дефибраторе и рафинаторе, так и в одну ступень на полупромышленной установке периодического действия (рафинер Ц-230).

При получении древесноволокнистых полуфабрикатов использовали технологическую щепу, имеющую следующий породный состав: сосна – (94±1,7) %, лиственница – (4±0,3) %, береза и осина – (2±0,1) %.

На размольной установке – рафинере Ц-230 технологическую щепу размалывали в течение (100±1) с при температуре (180±2) °С и давлении пара (1,0±0,03) МПа в течение (4±0,1) мин. При получении древесноволокнистых полуфабрикатов традиционным способом на первой ступени размола были зафиксированы оптимальные для древесной массы технологические и конструктивные параметры дефибратора: износ размалывающей гарнитуры – (45±2) %, зазор между размалывающими дисками – (0,15±0,01) мм, число оборотов подающего шнека – (12±1,5) об/мин; на второй ступени: износ размалывающей гарнитуры – (45±2) %, концентрация древесного волокна – (2,5±0,1) %, зазор между дисками размалывающей гарнитуры – (0,15±0,01) мм.

Характеристики древесной массы, полученной при одноступенчатом размоле, представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Морфологические характеристики волокон древесной массы

Фракционный состав	Размеры волокна	
	Длина, мм	Диаметр, мм
Волокно:		
крупное	≤ 3,0	≤ 0,2
среднее	3,0...0,2	0,2...0,02
Фибриллплазма:		
группа А	0,15...0,10	≥ 0,003
группа Б	0,09...0,04	≥ 0,003
Мельштофф:		
группа А	≥ 0,04	0,02...0,01
группа Б	0,20...0,15	0,01...0,003

Таблица 2

**Качественные характеристики древесноволокнистого полуфабриката  
и готовой плиты**

Показатель	Значение показателя для размола	
	в одну ступень	в две ступени
Фракционный показатель, г	41,8	32,6
Степень помола, ДС	18,8	21,0
Прочность плиты, МПа	41,2	39,1
Плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	819	807
Водопоглощение плиты за 24 часа, %:	27	24
Набухание плиты за 24 часа, %	32	29
Содержание волокна, %:		
крупного	37	43
среднего	33	37
Содержание фибриллплазмы, %:	12	2
группы А		
группы Б	3	8
Содержание мельштоффа, %:	6	7
группы А		
группы Б	9	3

В табл. 2 представлены характеристики волокнистого полуфабриката и готовой плиты, полученных при одно- и двухступенчатом размоле щепы.

Результаты исследования показывают, что при размоле технологической щепы в одну ступень степень помола массы несколько меньше, чем при традиционном двухступенчатом размоле, и составляет 17...19 ДС. Однако плиты из этой массы сохраняют в полной мере свои качественные характеристики и соответствуют ГОСТ 4598–86. При использовании рафинера Ц-230 количество крупной и средней фракции уменьшается соответственно на 6,0 и 4,0 %, содержание фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б увеличивается соответственно на 10,0 и 6,0 %, содержание фибриллплазмы группы Б и мельштоффа группы А снижается в среднем на 5,5 %.

Сохранение показателей физико-механических свойств готовой плиты при размоле щепы в одну ступень можно объяснить тем, что на качество древесной массы значительное влияние оказывают морфологические характеристики мелочи (средние длина и диаметр, отношение длины к диаметру и удельная поверхность волокна). В ходе ранее проведенных нами исследований установлено, что наилучшие показатели физико-механических свойств ДВП обеспечиваются наличием не менее 30 % среднего и 25...30 % мелкого волокна [3]. При этом мелкая фракция волокна должна состоять преимущественно из фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б, так как отношение длины к диаметру волокна данных групп в несколько раз превышает характеристики крупной и средней фракций волокна, что, несомненно, способствует

увеличению удельной поверхности древесной массы, когезионных связей и структурообразования плиты [2].

В ходе исследований в размалывающий агрегат рафинер Ц-230 были внесены конструктивные и технологические изменения параметров процесса размола технологической щепы в одну ступень, обеспечившие получение древесноволокнистой массы, плита из которой соответствует по показателям физико-механических свойств ГОСТ 4598–86. При размолу щепы в одну ступень преобладающая доля мелкодисперсной фракции древесноволокнистого полуфабриката состоит из фибриллплазмы группы А и мельштоффа группы Б, которые образуют когезионные связи с армирующими структуру и средними волокнами, тем самым увеличивая связанную поверхность контакта в плите. При этом данные группы мелочи не выпадают в осадок на сетку прибора (Дефибратор-секунда) и не ухудшают фильтрационную способность массы в отличие от фибриллплазмы группы Б и мельштоффа группы А, выступающих в роли наполнителя плиты. Это и объясняет несколько заниженное значение степени помола массы, полученной в одну ступень размола.

Таким образом, варьируя конструктивные и технологические параметры размалывающих машин, можно изготовить плиту, соответствующую ГОСТ 4598–86, из древесноволокнистого полуфабриката, полученного в одну ступень.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алашкевич Ю.Д.* Исследование гидродинамических явлений в процессе размола волокон в ножевых и размалывающих машинах: дис.... д-ра техн. наук. Л., 1970. 143 с.
2. *Ласкеев П.Х.* Производство древесной массы. Л., 1967. 581 с.
3. *Чистова Н.Г.* Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.

Поступила 17.01.12

*М.А. Zyryanov, N.G. Chistova*

Lesosibirsk Branch of Siberian State Technological University

#### **Fiberboard Production at Single-Stage Grinding**

It is known that wet method fiberboard production involves a significant impact of the quality and morphological characteristics of the wood fiber semi-product on the physical and mechanical properties of the finished board. As of today, we have no comprehensive knowledge about the impact of quality and morphological characteristics of wood fiber on the fiberboard structure formation.

Thus, the given study aimed to determine the influence of the properties of wood fiber semi-products on the finished board quality. To achieve this goal we accomplished the following objectives:

substantiated the structure formation of the board made of wood fiber semi product obtained in single-stage grinding and evaluated the morphological characteristics of its constituent fractions;

determined the influence of major technological and structural parameters of the grinding plant on the preparation of wood fiber semi-product and production of the finished board.

The research was conducted at varying operational and design parameters of the grinding plant, followed by an analysis of the obtained wood fiber.

The paper presents the results of the research on the effect produced by the grinding plant operating parameters on the morphological characteristics of wood fibers and structure of the finished board.

*Keywords:* grinding, wood fiber semi-product, wood chips, fibrilplasma, melshtoff, wood fiber, degree of grinding, fractional composition.

---

---

УДК 661.185

***О.С. Бровко<sup>1</sup>, Я.В. Казаков<sup>2</sup>, Т.А. Бойцова<sup>1</sup>, И.А. Паламарчук<sup>1</sup>,  
Д.А. Тормосина<sup>2</sup>, К.Г. Боголицын<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Бровко Ольга Степановна окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, вед. научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет около 150 научных трудов в области физикохимии растительных полимеров.  
E-mail: brovko-olga@rambler.ru

Казаков Яков Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, зав. кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 160 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.  
E-mail: j.kazakov@narfu.ru

Бойцова Татьяна Александровна окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, ст. научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 80 научных трудов в области химии растительных полимеров.  
E-mail: tboitsova@yandex.ru

Паламарчук Ирина Анатольевна окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, ст. научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 80 научных трудов в области химии растительных полимеров.  
E-mail: irpalamarchuk@mail.ru

Тормосина Дина Александровна окончила в 2011 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, магистрант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ.  
Тел.: (8182)21-61-43

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой теоретической и прикладной химии, проректор по научной работе Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, директор Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 500 научных трудов в области разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.  
E-mail: k.bogolitsin@narfu.ru

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПОЗИЦИИ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАСС ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ И ХИТОЗАНА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ИХ ОСНОВЕ\***

Объектом исследования являются пленки для разделительных мембран, полученные из интерполиэлектrolитных комплексов на основе лигносульфонатов и хитозана с введением в композицию целлюлозных волокон. Изучено влияние состава ком-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН (код проекта 12-М-45-1212) и гранта РФФИ (№ 11-03-98803-р\_север\_a).

© Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Тормосина Д.А., Боголицын К.Г., 2013



позиции и молекулярно-массового распределения природных полимеров (лигносульфонаты и хитозан) на деформационно-прочностные свойства пленок на их основе.

Пленки изготовлены способом полива на инертную подложку смеси водных растворов лигносульфонатов (ЛС) и уксуснокислотных растворов хитозана (ХТ) при соотношении ЛС : ХТ = 10 : 7 с последующей сушкой при постоянной влажности и комнатной температуре. Для улучшения механических характеристик пленок в композицию добавляли водную суспензию хвойной небеленой целлюлозы (содержание 15 или 25 %).

Для оценки прочностных и деформационных свойств пленок проведены испытания образцов на растяжение. Путем математической обработки индикаторной диаграммы нагрузка–удлинение ( $F-\Delta l$ ) при статических испытаниях на растяжение (скорость приложения нагрузки 10 мм/мин) получена зависимость напряжение–деформация ( $\sigma-\epsilon$ ).

В отличие от пленок, не содержащих в композиции целлюлозных волокон, которые имеют минимальную толщину и аморфная структура которых не способна обеспечить достаточную прочность и растяжимость, образец с повышенным содержанием целлюлозы в композиции принципиально отличается от остальных образцов, что отражают кривые нагрузка–удлинение и напряжение–деформация; он обладает наиболее высокими прочностными и деформационными свойствами, что связано с формированием самостоятельной сетки из целлюлозных волокон, которая несет основную механическую нагрузку.

Прочностные характеристики пленок повышаются с увеличением молекулярной массы лигносульфоната, тогда как для хитозана эта зависимость имеет экстремальный характер. Увеличение молекулярной массы хитозана до 1000 кДа снижает жесткость при растяжении пленок и увеличивает их растяжимость, использование в композиции хитозана с молекулярной массой более 500 кДа не приводит к улучшению механических характеристик пленок. Таким образом, механическое поведение изучаемых композиционных материалов во многом определяется присутствием основного пленкообразующего полимера – хитозана.

По результатам оценки механических свойств установлено, что наиболее высокие и стабильные прочностные и деформационные свойства имеет пленка, состоящая из интерполиэлектrolитного комплекса на основе лигносульфоната и хитозана с молекулярной массой 90 и 500 кДа соответственно и добавкой хвойной небеленой целлюлозы 25 %.

*Ключевые слова:* лигносульфонат, хитозан, целлюлоза, пленка, механические свойства.

Интерполиэлектrolитные комплексы (ИПК) – новый перспективный класс полимеров, применяющихся для изготовления материалов (разделительных мембран), которые используют для процессов диализа и первопорации [1–3]. Эти полимерные материалы имеют различный композиционный состав, но основными его элементами являются собственно ИПК, также могут быть введены пластификатор и волокнистый наполнитель [5]. Перспективными материалами для получения мембран могут служить природные полимеры, обладающие биосовместимостью с тканями живых организмов, способностью к биodeградации при отсутствии токсичности. Такой комплекс свойств от-

крывает возможность использования полимерных мембран на основе биополимеров в медицине и фармацевтике. Макромолекулы полимеров, используемых для получения мембран, должны быть достаточно жесткими и образовывать жесткие надмолекулярные структуры. Важной характеристикой мембран на основе ИПК является их механическая прочность, зависящая как от композиционного состава пленки, так и от молекулярной массы полимеров, входящих в ее состав. Необходимо знать условия, при которых мембраны способны существовать как тело и не терять своей целостности, чтобы проводить исследования и использовать их в практических целях. Кроме того, полимер должен быть инертен к компонентам разделяемой системы. Химический состав исходных пленкообразующих соединений в процессе их образования претерпевает ряд изменений сначала в растворе, затем в момент формирования пленки на поверхности подложки и, наконец, при термической обработке.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния состава композиции (добавка небеленой сульфатной целлюлозы) и макромолекулярных свойств биополимеров (лигносульфонаты и хитозан) на деформационно-прочностные свойства полимерных пленок на их основе.

#### *Экспериментальная часть*

Для получения полимерных пленок применяли:

лигносульфонаты (ЛС) технические (ОАО «Группа «Илим» в г. Коржаме), ТУ 13-0281036-029-94, фракционированные и очищенные методом ультрафильтрации с использованием полупроницаемых полисульфоновых мембран ПС-100, ПС-70, ПС-50. Использовали образцы ЛС со среднемассовой молекулярной массой (ММ) 24, 45, 63, 67, 90 кДа, которую определяли методом гель-проникающей хроматографии [6];

хитозан (ХТ) – ТУ 9289-002-11418234-99, полученный из панциря дальневосточного краба, фракционированный на ЗАО «Биопрогресс» (г. Щелково Московской области). Использовали образцы ХТ с молекулярной массой 30, 87, 150, 330, 500, 1000 кДа, степень дезацетилирования 85...87 %.

В качестве сшивающего агента использовали хвойную сульфатную небеленую целлюлозу ОАО «Архангельский ЦБК» (ТР-22-27-15-07). Размол образцов производили в лабораторной мельнице ЦРА при концентрации массы 6 %. Процесс размола контролировали путем определения степени помола массы согласно ГОСТ 14363.4-89.

Пленки получали, смешивая в определенном объемном соотношении водные растворы ЛС и уксуснокислотные (концентрация кислоты 2 %) растворы ХТ концентрацией 2,5 г/л (ЛС : ХТ = 10 : 7). Для улучшения механических характеристик пленок в композицию добавляли 15 или 25 % водной суспензии хвойной небеленой целлюлозы (концентрация 10 г/л), волокна которой обладают большой длиной, гибкостью и повышенной прочностью. После роспуска в гидроразбивателе образцы целлюлозы размалывали до степени помола 30° ШР. Пленки готовились способом полива на инертную подложку

(стекло, покрытое полиэтиленовой пленкой) с последующей сушкой при постоянной влажности и комнатной температуре. Полученные мембраны в воздушно-сухом состоянии имели гладкую поверхность, прозрачны и эластичны, хорошо набухают в воде.

Для оценки прочностных и деформационных свойств пленок проведены испытания образцов на растяжение на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину Тестсистема-105 (г. Иваново) и ПЭВМ, с получением индикаторной диаграммы нагрузка–удлинение ( $F-\Delta l$ ) при статических испытаниях на растяжение. В результате ее математической обработки получена зависимость напряжение–деформация ( $\sigma-\varepsilon$ ). Для испытаний на лабораторном резке вырезали образцы размером 80×25 мм, расстояние между зажимами – 50 мм, скорость растяжения образцов – 10 мм/мин.

В ходе математической обработки экспериментальных кривых нагрузка–удлинение, полученных при проведении параллельных испытаний, производили построение средней кривой, состоящей из 21 точки, и в каждой точке рассчитывали следующие характеристики: усилие  $F$ ; удлинение  $\Delta l$ ; напряжение  $\sigma$ ; деформацию  $\varepsilon$ ; текущий модуль упругости  $E$ ; модуль общей деформации  $E_1$ ; работу  $A$ ; энергию, поглощаемую при растяжении (ТЕА).

#### Обсуждение результатов

Результаты эксперимента по оценке влияния содержания целлюлозы на механические свойства пленок представлены в табл. 1. Для получения пленок брали ЛС (молекулярная масса 24 и 67 кДа) и ХТ (87 кДа). В композицию также вводили 15 или 25 % целлюлозы. Средние для испытанных образцов пленок зависимости нагрузка–удлинение и напряжение–деформация представлены на рис. 1.

Все испытанные образцы обладали невысокой прочностью и повышенной хрупкостью и отличались по толщине и массе 1 м<sup>2</sup>, что было учтено при анализе результатов. Некоторые механические характеристики ( $F$ ,  $A$ ,  $TEA$ ), значительно зависели от толщины пленки, при вычислении других ( $\sigma_p$ ,  $E_1$ ) по формулам толщину также учитывали.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов пленок на растяжение

№ образца	Материал	$\delta$ , мкм	$F_{\max}$ , Н	$\Delta l$ , мм	$\varepsilon$ , %	$\sigma_p$	$E_1$	$A$ , мДж	$TEA$ , Дж/м <sup>2</sup>
						МПа			
1	хт87лс24	12	2,13	0,604	1,207	11,81	1733	0,444	592
2	хт87лс24-15ц	30	4,20	0,394	0,788	9,20	2035	0,770	1027
3	хт87лс67-15ц	41	1,60	0,864	1,728	2,61	331	0,436	581
4	хт87лс67-25ц	53	20,37	0,573	1,147	25,72	3820	6,076	8101
5	хт87лс24-25ц	79	3,29	0,966	1,932	1,66	126	1,347	1078
6	хт87лс67	31	1,91	1,068	2,135	2,50	239	0,853	683

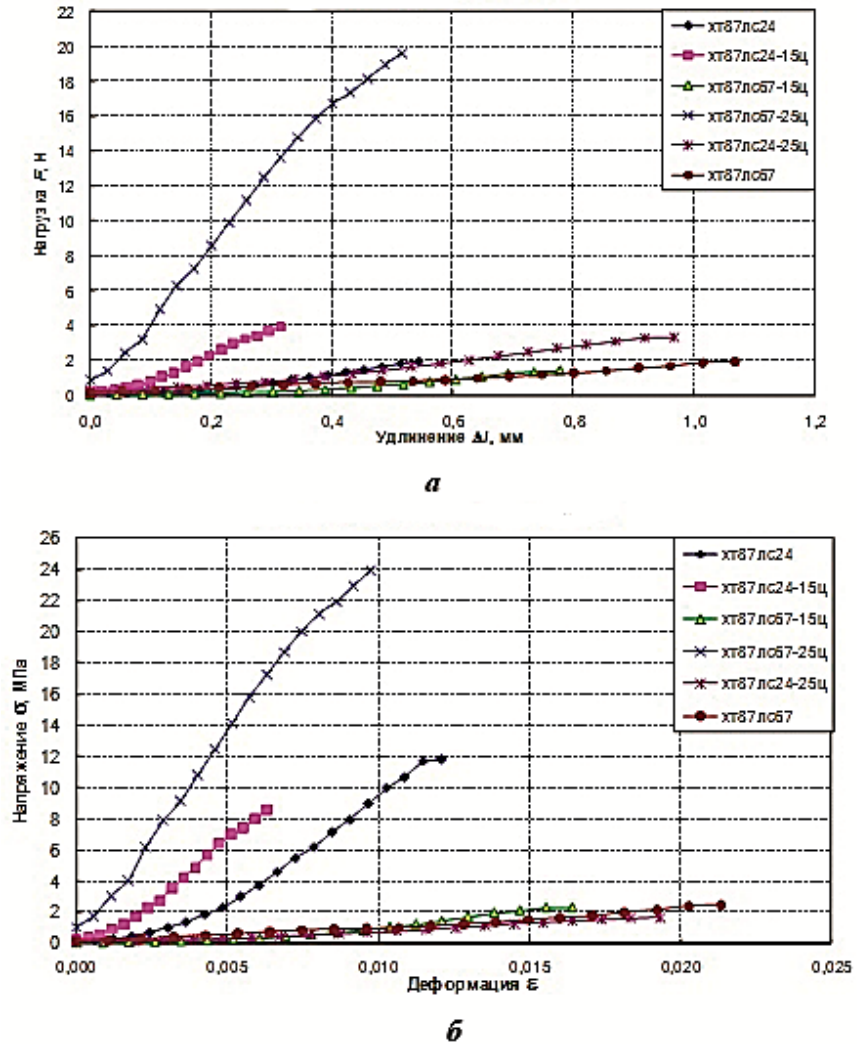


Рис. 1. Зависимости нагрузка–удлинение (а) и напряжение–деформация (б) для пленок различного композиционного состава (см. обозначения образцов в табл. 1; деформация – в безразмерных единицах)

Образцы 1 и 6, не содержащие в композиции целлюлозных волокон, имеют минимальную толщину, а их аморфная структура не способна обеспечить достаточную прочность и растяжимость. Небольшое увеличение толщины у образца 2 наблюдается, вероятно, за счет увеличения ММ ЛС. Введение целлюлозы в композиции увеличило толщину пленок за счет толстых волокон и растекания смеси в ограниченном пространстве между волокнами. При небольшом содержании целлюлозных волокон (образцы 2 и 3), не образующих в структуре пленки самостоятельной сетки, толщина и прочность пленки незначительно увеличиваются.

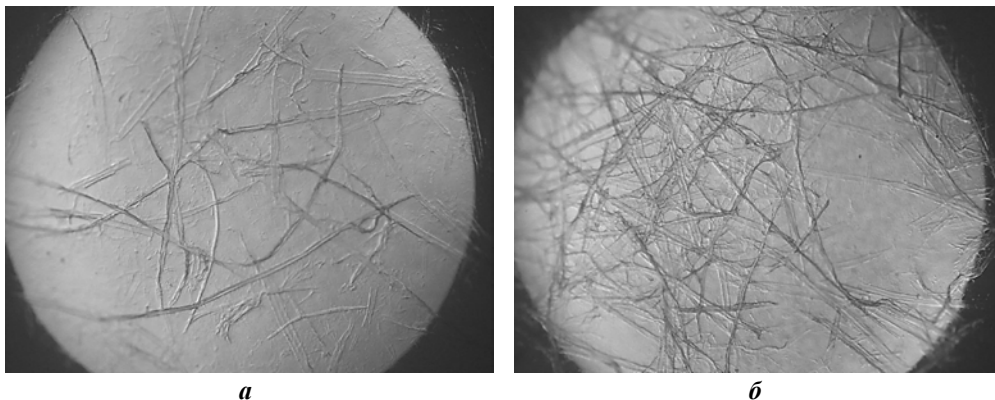


Рис. 2. Микрофотографии пленок, полученные на цифровом микроскопе при различном содержании целлюлозы в композиции: *a* – 15 %; *б* – 25 %

Образец 4 с повышенным содержанием целлюлозы в композиции принципиально отличается от остальных образцов по характеру диаграмм нагрузка–удлинение и напряжение–деформация и обладает наиболее высокими прочностными и деформационными свойствами. Это может быть связано с формированием самостоятельной сетки из целлюлозных волокон, которая несет основную механическую нагрузку (рис. 2).

Для проведения испытаний по оценке влияния ММ ХТ и ЛС на свойства пленок были взяты образцы ХТ с ММ = 30, 150, 330, 500, 1000 кДа и образцы ЛС с ММ = 24, 45, 63, 90 кДа. Добавка целлюлозы 25 %. Результаты представлены в табл. 2.

Образцы из ХТ с ММ = 500 кДа имеют наибольшую толщину, обладают наиболее высокими прочностными и деформационными свойствами. При увеличении ММ ХТ до 1000 кДа получают пленки минимальной толщины, обладающие низкой прочностью и жесткостью при растяжении, высокой растяжимостью, т. е. использование в композиции ХТ с ММ > 500 кДа не приводит к улучшению механических характеристик пленок. Таким образом, зависимость прочностных характеристик пленок от ММ основного пленкообразующего полимера ХТ имеет экстремальный характер. Это характерно для пленок, полученных из ХТ [4], и свидетельствует о том, что механическое поведение изучаемых композиционных материалов во многом определяется присутствием именно этого полимера.

Увеличение ММ ЛС в полимерной композиции приводит к повышению толщины пленок за счет большей вязкости смеси в жидком состоянии и меньшей площади растекания, при этом увеличиваются прочность и растяжимость пленок. Образцы пленок из ЛС с ММ = 90 кДа принципиально отличаются от остальных образцов по характеру диаграмм  $\sigma$ – $\epsilon$  и обладают наиболее высокими прочностными и деформационными свойствами.

Таблица 2  
**Результаты испытаний образцов пленок из ЛС (ММ = 24...90 кДа)  
и ХТ (ММ = 50...1000 кДа) на растяжение (добавка целлюлозы 25 %)**

Материал	$\delta$ , мкм	$F_{\max}$ , Н	$\Delta l$ , мм	$\varepsilon$ , %	$\sigma_p$ , МПа	$E_1$ , МПа	$A$ , мДж	$TEA$ , Дж/м <sup>2</sup>
лс24хт150	50	2,41	0,756	1,512	1,93	277	1,215	972
лс24хт330	48	3,21	0,622	1,244	2,68	335	1,134	907
лс24хт500	62	2,92	0,815	1,630	1,88	198	1,240	992
лс24хт1000	40	1,46	1,044	2,087	1,46	143	0,931	745
лс45хт30	95	8,16	0,799	1,597	3,44	510	3,483	2786
лс45хт150	74	4,06	0,522	1,044	2,21	445	1,098	878
лс45хт330	58	3,49	0,614	1,228	2,43	326	1,260	1008
лс45хт500	65	7,31	0,867	1,734	4,50	461	3,502	2801
лс45хт1000	40	2,31	0,741	1,482	2,33	230	0,786	629
лс63хт330	63	3,39	0,670	1,340	2,15	256	1,395	1116
лс63хт500	64	4,74	1,071	2,142	2,96	342	3,206	2565
лс63хт1000	50	1,80	1,269	2,537	1,44	113	1,135	908
лс90хт330	72	7,79	0,693	1,385	4,36	560	2,937	2350
лс90хт500	73	8,72	0,811	1,622	4,81	511	3,860	3088
лс90хт1000	53	5,43	1,096	2,192	4,13	305	2,513	2010

Водонабухающие мембраны, как правило, обладают хорошими диализными свойствами, поэтому полученный полимерный композит был испытан в качестве полупроницаемой мембраны для процесса диализа.

В табл. 3 приведены характеристики опытного образца ЛС натрия до и после диализа через синтезированные полимерные пленки. В процессе диализа содержание золы уменьшилось в 1,4 раза, т. е. основное количество неорганических солей перешло в диффузат. Среднемассовая молекулярная масса ( $M_w$ ) ЛС после диализа возросла в 1,5 раза, а степень полидисперсности ( $M_w/M_n$ ) уменьшилась.

Гель-хроматограммы исходного образца и продукта мембранного разделения представлены на рис. 3. Для диализованного ЛС (рис. 3, б) пик высокомолекулярной фракции на бимодальной кривой молекулярно-массового распределения проявляется более ярко по сравнению с недиализированным ЛС (рис. 3, а).

Таблица 3  
**Характеристика образцов ЛС до и после диализа**

Образец	Зольность, %	$M_w$ , кДа	$M_w/M_n$
До диализа	13,8	24	5,5
После диализа	10,2	37	4,5

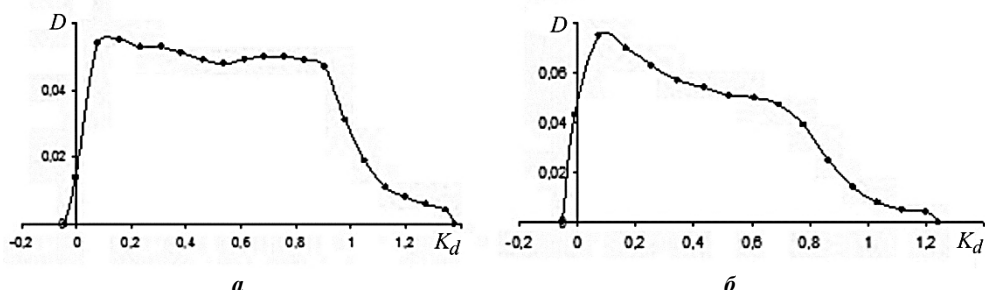


Рис. 3. Гель-хроматограммы ЛС до (а) и после (б) диализа

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан и апробирован способ получения биополимерных композиционных пленок на основе ЛС и ХТ с добавками хвойной сульфатной небеленой целлюлозы для использования в качестве диализных мембран.

Установлено, что пленки без целлюлозного волокна не обладают необходимым уровнем прочностных и деформационных характеристик, требуется введение волокнистого материала для их упрочнения. Количество вводимого хвойного волокна должно составлять не менее 25 %, при этом волокна в структуре пленки должны сформировать самостоятельную сетку.

Показано, что прочностные характеристики исследуемых пленок повышаются с увеличением ММ ЛС, тогда как для ХТ эта зависимость имеет экстремальный характер.

По результатам оценки механических свойств в качестве оптимальной для процесса диализа предложена мембрана, композиция которой состоит из ЛС с ММ = 90 кДа, ХТ с ММ = 500 кДа и добавки 25 % хвойной небеленой целлюлозы. Пленки такой композиции проявляют наиболее высокие и стабильные прочностные и деформационные свойства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изумрудов В.А., Сыбачин А.В. Определяющее влияние лиофилизирующего полииона на фазовые разделения в растворах полиэлектролитных комплексов // Высокомолекулярные соединения, А. 2006. Т. 48, № 10. С. 1849–1857.
2. Кабанов В.А. Полиэлектролитные комплексы в растворе и в конденсированной фазе // Успехи химии. 2005. Т. 74, № 1. С. 5–23.
3. Кооперативные взаимодействия в системе лигносульфонат–хитозан / Паламарчук И.А. [и др.] // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 24–29.
4. Особенности механических испытаний пленок хитозана / Е.Н. Федосеева, М.Ф. Алексеева, В.П. Нистратов, Л.А. Смирнова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. Т. 75, № 7. С. 42–46.
5. Применение целлюлозных волокон для повышения прочности полимерных диализных мембран / О.С. Бровко, Я.В. Казаков, Т.А. Бойцова, И.А. Паламарчук // Материалы I Междунар. науч.-техн. конф. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», г. Архангельск, 13–17 сент. 2011 г. С. 251–256.

6. Соколов О.М. Определение молекулярных масс лигнинов на ультрацентрифуге и методом гель-фильтрации: учеб. пособие. Л., 1978. 75 с.

Поступила 13.09.13

*O.S. Brovko<sup>1</sup>, Ya.V. Kazakov<sup>2</sup>, T.A. Boytsova<sup>1</sup>, I.A. Palamarchuk<sup>1</sup>,  
D.A. Tormosina<sup>2</sup>, K.G. Bogolitsyn<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

### **Effect of the Composition and Molecular Weights of Lignosulfonates and Chitosan on the Physical and Mechanical Properties of Polymer Films on their Basis**

Objects of our research were films for separation membranes, obtained from interpolyelectrolyte complexes based on lignosulfonate and chitosan with the introduction of pulp fibers into the composition. The paper studies the influence of the composition and molecular weight distribution of lignosulfonate and chitosan natural polymers on the mechanical properties of films obtained from them.

The films were prepared by spreading the mixture of aqueous lignosulfonate (LS) solution and acetous chitosan (CT) solution at a ratio LS:CT=10:7 on the inert support, followed by drying at a constant humidity and room temperature. To improve the mechanical properties of the films in the composition, unbleached softwood pulp (15 or 25 %) in the form of an aqueous suspension was added.

To assess the strength and deformation properties of the films, we carried out tensile tests and mathematically treated a stress-strain curve (" $\sigma$ - $\epsilon$ ") obtained by processing the indicator load-elongation diagram (" $F$ - $\Delta l$ ") during the static tensile testing at a load rate of 10 mm/min.

The films without cellulose fibers have a minimum thickness and their amorphous structure can not provide sufficient strength and extensibility. Conversely, the sample with high content of cellulose in its composition shows a mechanical behaviour different from the other samples, which is reflected in the load-elongation curves and stress-strain curves. It has the best strength and deformation properties, which is associated with the formation of an independent network of cellulose fibers bearing the primary mechanical load.

The tensile properties of the films improve with increasing molecular weight of lignosulfonate, whereas for chitosan this dependence is of an extreme nature. By increasing chitosan molecular weight to 1000 kDa, tensile stiffness of the films is reduced and their elongation increased. The use of chitosan with a molecular weight of 500 kDa in the composition does not improve the mechanical properties of the films. Thus, the mechanical behaviour of the composite materials under study was to a large extent determined by the presence of the main film-forming polymer: chitosan.

The evaluation of mechanical properties helped determine that the highest and most stable strength and deformation properties are found in the film consisting of an interpolyelectrolyte complex based on lignosulfonate and chitosan with a molecular weight of 90 and 500 kDa respectively and with addition of 25 % unbleached softwood pulp.

*Keywords:* lignosulfonate, chitosan, cellulose, film, mechanical properties.



УДК 676.27:678.5

*А.А. Перепелкина, М.Ф. Галиханов, Л.Р. Мусина*

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Перепелкина Аэлита Александровна окончила в 2013 г. Казанский национальный исследовательский технологический университет, аспирант кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов КНИТУ. Имеет 13 работ в области получения и исследования свойств тароупаковочных материалов на основе целлюлозно-бумажных материалов и полимерных композиций.

E-mail: aelita.p@mail.ru

Галиханов Мансур Флоридович родился в 1972 г., окончил в 1995 г. Казанский государственный технологический университет, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета. Имеет около 370 научных и более 10 методических работ в области получения, исследования структуры и свойств электретов на основе полимерных композиций, технологии тароупаковочных активных материалов.

E-mail: mgalikhanov@yandex.ru

Мусина Ляйсан Рафаиловна окончила в 2009 г. Казанский государственный технологический университет, ассистент кафедры химической технологии древесины Казанского национального исследовательского технологического университета. Имеет более 15 опубликованных работ в области получения и исследования свойств тароупаковочных материалов на основе целлюлозно-бумажных и полимерных композиций.

E-mail: L.musina@yandex.ru

## **МОДИФИКАЦИЯ БУМАГИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

Работа посвящена вопросу повышения качества бумажных материалов с помощью физических воздействий. Целью исследования явилось изучение влияния ламинирования полимерными пленками и обработки в электрическом поле на эксплуатационные свойства бумаги. В качестве объектов исследования использовали упаковочную бумагу марок М-70 и М-78 и пленочный полиэтилен высокого давления. Показателями качества бумаги служили сопротивление раздиранию, разрушающее усилие при растяжении, сопротивление продавливанию, поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании и впитываемость при полном погружении.

Показано, что поверхностная обработка полиэтиленовой пленкой ведет к улучшению прочностных и барьерных свойств бумаги. Это связано с затеканием расплава полимера в пространство между волокнами на поверхности материала, что уменьшает степень свободы фибрилл и волокон, повышает жесткость бумаги и препятствует проникновению воды в волокнистую структуру бумаги с одной стороны.

Воздействие униполярного коронного разряда на ламинированную бумагу способствует усилению сил электростатических связей между волокнами и другими структурными элементами в бумаге, образованию ориентированного состояния у сегментов макромолекул волокон и проклеивающих веществ и приводит к упрочнению целлюлозно-бумажного материала. Под воздействием коронного разряда поверхност-

---

© Перепелкина А.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р., 2013

ная впитываемость и впитываемость при полном погружении бумаги снижаются на 10 ... 15 %, что объясняется следующим образом. Перемещение молекул жидкости по поверхности твердого тела затруднено электростатическим взаимодействием в поле электрета, что ведет к увеличению работы, которую необходимо совершить капле воды против поверхностного натяжения на границе твердой и жидкой фаз вследствие скачка электрического потенциала на этой границе.

Сделан вывод о том, что внедрение стадий ламинирования и обработки коронным разрядом в промышленные процессы модификации целлюлозно-бумажных материалов может стать перспективным направлением для расширения областей применения бумаги.

*Ключевые слова:* целлюлозно-бумажный материал, бумага, полимерное покрытие, полиэтилен, униполярный коронный разряд.

Целлюлозно-бумажные материалы, благодаря легкости, универсальности, удобству при транспортировке и переработке, дешевизне, на сегодняшний день остаются одними из самых востребованных упаковочных материалов [12]. Бумага, с одной стороны, обладает оптимальными для применения функциональными характеристиками, с другой, имеет существенный недостаток – низкие показатели механической прочности. Это значительно снижает сферу ее применения в тех случаях, когда требуется сохранение прочности упаковки при большой массе затариваемого продукта [2, 11]. Научные и производственные изыскания в данном направлении заключаются в разработке и применении прогрессивных методов изготовления, обработки и модификации целлюлозно-бумажных материалов в целях улучшения их характеристик [1, 4, 6, 9].

Повышения качества бумажных материалов можно добиться термической обработкой, воздействием электрических полей, радиационных и микроволновых излучений, поверхностной обработкой (ламинированием) полимерными пленками и др. [4, 5, 11].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния ламинирования и обработки в электрическом поле на эксплуатационные свойства бумаги.

В качестве объектов исследования была выбрана упаковочная бумага марок М-70 и М-78 (ГОСТ 2228–81) плотностью соответственно 70 и 78 г/м<sup>2</sup> и пленочный полиэтилен высокого давления (ПЭВД) толщиной 10 мкм.

Показатели качества бумаги: сопротивление раздиранию  $F_{\text{разд}}$  (ГОСТ 13525.3–97); разрушающее усилие при растяжении  $\sigma_p$  (ГОСТ 30436–96); сопротивление продавливанию  $P_0$  (ГОСТ 13525.8–86); поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании (ГОСТ 12605–97); впитываемость при полном погружении (ГОСТ 12604–71).

Нанесение покрытия осуществляли в термошкафу при температуре 145 °С в течении 3 мин. Качество покрытия оценивали визуально.

Воздействие электрическим полем проводили непосредственно после процесса ламинирования в униполярном (отрицательном) коронном разряде

**Механические свойства и впитываемость исходной бумаги (числитель) и бумаги с поверхностной обработкой полиэтиленовой пленкой (знаменатель)**

Марка бумаги	Сопrotивление раздиранию, Н	Разрушающее усилие при растяжении, МПа	Сопrotивление продавливанию, кПа	Поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании, г/м <sup>2</sup>	Впитываемость при полном погружении, г
М-70	0,78/0,86	6,9/24,0	262/290	12,90/3,01	1,38/0,62
М-78	0,85/0,95	6,8/23,9	267/301	13,12/11,74	1,39/0,57

при напряжении поляризации 35 кВ в течение 60 с. Измерение электрического потенциала поверхности  $V_s$  бумаги осуществляли компенсационным методом (экранирование приемного электрода) на приборе ИПЭП -1.

Исследования показали, что ламинирование бумаги полиэтиленовой пленкой существенным образом влияет на ее механические свойства (см. таблицу).

Некоторые из приведенных показателей не относятся к основным показателям свойств целлюлозно-бумажных материалов, но имеют важное значение для упаковочно-оберточных видов бумаги. Видно, что поверхностная обработка бумаги полиэтиленом повышает сопротивления раздиранию и продавливанию более чем на 10 %, разрушающее усилие при растяжении – в 2,5 раза. Наблюдаемое выглядит вполне логично: любой материал, в составе которого имеется дополнительный слой, по показателям физико-механических свойств превосходит свой аналог без этого слоя. Механизм усиления бумаги (т. е. увеличение  $F_{\text{разд}}$ ,  $\sigma_p$  и  $P_0$ ) представляется следующим образом: расплав полимера проникает в межволоконные области целлюлозно-бумажного материала, уменьшая степень свободы фибрилл и волокон, что ведет к повышению жесткости бумаги как в поверхностном слое, так и в материале в целом.

Расплав полимера, затекающий в пространство между волокнами, будет защищать бумажный материал от проникновения в него влаги с одной из сторон, т. е. препятствовать проникновению воды в волокнистую структуру бумаги. Это должно снизить поверхностную впитываемость бумаги при одностороннем смачивании и, вполне возможно, при полном погружении. Проведенные исследования подтвердили данную гипотезу (см. таблицу).

Более чем 2-кратное снижение впитываемости бумаги при полном погружении и ламинировании полиэтиленовой пленкой свидетельствует об увеличении гидрофобных свойств целлюлозно-бумажного материала, снижении его гигроскопичности.

Таким образом, применение полимерного покрытия для поверхностной обработки бумаги оказывает положительное влияние на ее механические и барьерные свойства.

Как было показано выше, одним из способов повышения качества бумажных материалов является их обработка электрическим полем [5, 11];

применение поля коронного разряда может привести к повышению прочностных свойств бумаги на 7 ... 8 % [5]. Наличие полиэтиленового слоя на образцах с поверхностной обработкой может усилить данное воздействие. Известно, что униполярный коронный разряд эффективен для создания у полиэтилена электретного\* состояния [3, 14]. Есть данные, что перевод полимеров в электретное состояние может привести к увеличению их прочностных свойств в 2 – 2,5 раза [8]. Изучению влияния униполярного коронного разряда на показатели физико-механических свойств исходной и ламинированной бумаги посвящена вторая часть работы.

Установлено, что обработка исходной бумаги в отрицательном коронном разряде либо не приводит к образованию электрета, либо потенциал ее поверхности мал для обнаружения применяемым прибором. В то же время, начальное (сразу после воздействия коронного разряда) значение электрического потенциала  $V_3$  бумаги с поверхностной обработкой полиэтиленовой пленкой составляло 120 В, затем оно снижалось и после 8 сут хранения стабилизировалось:  $V_3 = 50$  В.

Образование электретного состояния у ламинированной бумаги М-70 приводит к росту сопротивлений продавливанию до 311 кПа, раздиранию – до 1,04 Н. Для электретной ламинированной бумаги марки М-78 эти прочностные характеристики составили соответственно 315 кПа и 1,00 Н.

Данный факт можно объяснить не только увеличением прочности полиэтилена, но и влиянием обработки униполярным коронным разрядом на саму бумагу. Это может быть связано с ориентацией элементов структуры целлюлозно-бумажного материала (сегментов макромолекул целлюлозы, проклеивающих веществ) под воздействием электрического поля. Вполне вероятно, возникают связи между свободными поверхностными гидроксильными группами целлюлозных волокон при их взаимном сближении, что приводит к упрочнению всей структуры материала. Известно, что свойством растительного волокна, самопроизвольно проявляющим себя, является образование двойного электрического слоя (ДЭС) на поверхности свободных сегментов волокон, в коагуляционных контактах [10, 13]. Величина и знак электрокинетического потенциала – количественной характеристики ДЭС – могут изменяться под действием многих факторов: рН, вида и концентрации химических веществ (особенно ионогенных) в бумажной массе, вида волокнистого полуфабриката (целлюлоза, древесная масса, вторичное волокно) и степени его гидратации, воздействия электрического поля и др. факторов [7]. Скорее всего, под действием коронного разряда происходит искусственное возрастание потенциала двойного электрического слоя, что благоприятно сказывается на прочностных характеристиках бумаги.

---

\* Электрет – электрический аналог магнита – диэлектрик, длительно сохраняющий электрические заряды одного или разного знаков.

Барьерные свойства ламинированной полиэтиленом бумаги М-70 также изменяются под действием коронного разряда – поверхностная впитываемость и впитываемость при полном погружении соответственно снижаются до 2,44 г/м<sup>2</sup> и 0,47 г. Для образцов на основе бумаги марки М-78 эти показатели соответственно составляют 9,6 г/м<sup>2</sup> и 0,54 г. Наблюдаемую разницу в свойствах образцов с электретным состоянием и без него можно объяснить, рассматривая механизм смачивания полимерных пленок жидкостями. Перемещение молекул жидкости по поверхности твердого тела затруднено электростатическим взаимодействием в поле электрета, что ведет к увеличению работы, которую необходимо совершить капле воды против поверхностного натяжения на границе твердой и жидкой фаз вследствие скачка электрического потенциала на этой границе.

Таким образом, поверхностная обработка полиэтиленовой пленкой ведет к улучшению прочностных и барьерных свойств бумаги. Это связано с затеканием расплава полимера в пространство между волокнами на поверхности материала, что уменьшает степень свободы фибрилл и волокон, повышает жесткость бумаги и препятствует проникновению воды в волокнистую структуру бумаги с одной из сторон. Воздействие униполярного коронного разряда на ламинированную бумагу способствует возникновению или усилению сил электростатических связей между волокнами и другими структурными элементами в бумаге, образованию ориентированного состояния у сегментов макромолекул волокон и проклеивающих веществ и приводит к упрочнению целлюлозно-бумажного материала. Внедрение стадий ламинирования и обработки коронным разрядом в промышленные процессы получения или модификации целлюлозно-бумажных материалов может стать перспективным направлением для расширения областей применения бумаги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Евсеев М.М., Кожевников С.Ю.* Исследование влияния минеральных пигментов на качество бумаги // *Химия растительного сырья*. 2012. № 4. С. 205–208.
2. *Кейси Д.П., Стейли А.Е.* Свойства бумаги и ее переработка / Под ред. А.И. Бродоцкой. М.: Гослесбумиздат, 1960. 586 с.
3. *Луццейкин Г.А.* Полимерные электреты. М.: Химия, 1984. 184 с.
4. *Мусина Л.Р., Галиханов М.Ф.* Условия достижения высоких показателей механической прочности целлюлозно-бумажных материалов // *Вестник Казанского технол. ун-та*. 2011. № 5. С. 44–46.
5. *Перепелкина А.А., Мусина Л.Р., Галиханов М.Ф.* Влияние термической обработки и электрофизического воздействия на сопротивление продавливанию целлюлозно-бумажного материала // *Вестник Казанского технол. ун-та*. 2013. Т. 16, № 7. С. 113–114.
6. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А.А. Остапенко [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2012. № 1. С. 187–190.
7. Роль  $\xi$ -потенциала в межволоконном взаимодействии / И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин, В.К. Дубовый, С.Ю. Кожевников // *Физикохимия растительных полимеров: материалы IV Междунар. конф.* Архангельск, 2011. С. 133–134.

8. Свойства полимерных электретных материалов, сформированных в контакте с разнородными металлами / И.М. Вертячих, Ю.И. Воронежцев, В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук // Пласт. массы. 1986. № 3. С. 30–32.

9. Смолин А.С. О развитии технологии бумаги и картона // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 163–171. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Яккола П. Исследование дзета-потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 177–184.

11. Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.

12. Чемезов А.С. О производстве и использовании тары и упаковки из картона и бумаги // Аграрный вестник Урала. 2006. № 1. С. 18–19.

13. Юрьев В.И. О поверхностном (термодинамическом) потенциале целлюлозных волокон: межвуз. сб. науч. тр. 1980. № 6. С. 50–53.

14. Yovcheva T. Corona charging of synthetic polymer films. New York: Nova Science Publishers Inc, 2010. 60 с.

Поступила 15.07.13

*A.A. Perepelkina, M.F. Galikhanov, L.R. Musina*

Kazan National Research Technological University

#### **Modification of Paper to Improve its Performance Properties**

The paper dwells on the improvement of the quality of paper materials by physical actions. The research aimed to investigate the effect of lamination with plastic films and in the electric field treatment on the performance properties of paper. Our objects of research were M -70 and M -78 wrapping paper and high-density polyethylene films. Indicators of paper quality were: tear resistance, tensile breaking strength, bursting strength, surface absorbency at one-sided moistening, and full-immersion absorbency.

Polyethylene film surface treatment tends to improve the strength and barrier properties of paper. This is due to the polymer melt flowing into the space between the fibers on the surface of the material, which reduces the degree of freedom of fibrils and fibers, increases paper stiffness and prevents water from entering into the fibrous structure of the paper from one of the sides.

The effect of a unipolar corona discharge on laminated paper enhances the electrostatic bonding forces between the fibers and other structural elements in the paper, as well as to formation of oriented condition of macromolecule segments in fibers and sizing agents. In addition, exposure to this kind of discharge makes pulp and paper material stronger. Under the influence of corona discharge, surface absorbency and full-immersion absorbency of paper is reduced by 10–15 %, which can be explained as follows: movement of liquid molecules on the surface of a solid body is hindered by the electrostatic interaction in the electret field, thus increasing the work that a drop of water must do against the surface tension at the solid-liquid boundary as a result of electric potential jump at this boundary. A conclusion is made that lamination and corona discharge treatment of pulp and paper materials can make a great contribution to expansion of their areas of use.

*Keywords:* Pulp and paper material, paper, polymer coating, polyethylene, unipolar corona discharge.



УДК 338.12.017

**О.П. Сушко, А.В. Пластинин, Н.А. Шиловская**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Сушко Ольга Петровна окончила Всероссийский заочный финансово-экономический институт, Современный гуманитарный университет, Педагогический государственный университет им. М.В. Ломоносова, ассистент кафедры экономической теории и экономики приарктических регионов Института экономики и управления Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 15 печатных работ в области экономики.

E-mail: osushko@mail.ru

Пластинин Александр Викторович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор, чл.-корр. РАЕН, заслуженный экономист РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Автор около 100 научных работ, включая 3 монографии в области экономики.

E-mail: ie@narfu.ru

Шиловская Надежда Аркадьевна окончила Тверской государственный университет, старший преподаватель кафедры математики Института математики, информационных и космических технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 7 печатных работ в области молекулярной физики, медицинской статистики, математики. Автор 3 учебных пособий.

E-mail: shnalti@gmail.com

## **К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА МИРОВОМ РЫНКЕ НА ПРОДУКЦИЮ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ\***

Разработка методики экономико-математического прогнозирования ценовой динамики на продукцию лесопромышленного комплекса имеет значение для устойчивого развития самих предприятий и отрасли в целом.

В статье представлен экономико-математический анализ динамики цен на целлюлозу российских и мировых производителей. Исследование временных рядов цен на беленую и небеленую сульфатную целлюлозу российских и мировых производителей проводилось за длительный период времени. Выборки цен сделаны на базе данных международных и российских статистических организаций. Процесс построения прогноза включает исследование свойственных лесопромышленному комплексу и целлюлозно-бумажному рынку характера трендов, сезонных и циклических процессов. Выявленные тренды всех временных рядов цен на целлюлозу имеют сопоставимый характер. Отправной точкой длительных возрастающих трендов всех временных рядов является 2002 г. Данные тренды являются долгосрочными и сохраняются по настоящее время. Различия динамики цен на целлюлозу российских и мировых производителей по трендовой составляющей в период с 2002 г. по 2012 г. проявляется в темпах прироста. В ходе экономико-математического анализа временных рядов выяв-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РФ по договору 02.G25.31.0023.

© Сушко О.П., Пластинин А.В., Шиловская Н.А., 2013

лены количество, период, амплитуда и другие и свойства циклов. Циклы продолжительностью 11 – 14 кварталов имеют совпадающие структуру и длительность фаз. Первая фаза, цены в которой наименьшие, длится 2 – 3 квартала, вторая фаза характеризуется ростом цен на целлюлозу в течение 5 – 6 кварталов. Максимальных цен целлюлоза достигает к 10-11 кварталу. На последнюю фазу цикла приходится снижение цен на целлюлозу в течение 4 – 5 кварталов. Для всех временных рядов цен на целлюлозу характерны значительные перепады цен в фазах роста и спада. Причем фазовая разница цен на целлюлозу мировых производителей более существенна, чем на целлюлозу российских производителей.

Для всех анализируемых объектов разработаны среднесрочные прогнозы и два-три сценария долгосрочных прогнозов на базе протестированных наиболее адекватных моделей. Построенные модели открывают возможность прогнозировать ценовую динамику на длительный срок при отсутствии непредвиденных факторов, хозяйственной деятельности и появления новых факторов ранее, не наблюдавшихся. Апробированная схема анализа временных рядов может быть использована при обработке ценовых данных на разные виды лесобумажной продукции.

*Ключевые слова:* экономико-математический анализ, динамика цен, линейный тренд цен на целлюлозу, цикличность, прогнозирование динамики цен на целлюлозу.

Прогнозирование социально-экономических тенденций актуально в связи с практическим значением для широкого круга заинтересованных сторон. В докладе Европейской экономической комиссии ООН, посвященного результатам перспективного исследования лесного сектора Европы, указана основная цель прогнозирования, которая состоит в том, чтобы предоставить в распоряжение управляющих органов информацию и анализ, касающиеся долгосрочных тенденций, и прогнозы развития лесного сектора [2]. Надо отметить, что прогнозированием динамики развития лесного комплекса занимаются ведущие аналитические и консалтинговые компании, статистические организации и научно-исследовательские институты. Крупные лесопромышленные холдинги и корпорации также разрабатывают перспективные планы и прогнозы [3]. Прогнозирование объемов производства целлюлозно-бумажной продукции осуществляется на основе оценки существующих мощностей с учетом динамики внутреннего валового продукта (ВВП), численности населения и его уровня доходов, которые влияют на уровень потребления готовой лесобумажной продукции. В отношении ценовых показателей рыночного обращения целлюлозно-бумажной продукции даются осторожные оценки стоимости некоторых видов лесобумажной продукции на краткосрочную перспективу.

Разработка методики прогнозирования ценовой динамики на продукцию лесопромышленного комплекса будет иметь значение для устойчивого и эффективного развития самих предприятий и отрасли в целом. В силу изменений конъюнктуры мирового рынка лесобумажной продукции устойчивость целлюлозно-бумажных предприятий России будет подвержена значительным колебаниям [2]. Поэтому возможность рассчитывать варианты производственной, сбытовой, финансовой и, особенно, инвестиционной деятельности



на краткосрочные, среднесрочные и более длительные периоды позволит определить тактические и стратегические действия менеджмента предприятий лесного комплекса и, по возможности, снизить или нивелировать последствия кризиса для собственных производственных объектов и в целом для российской целлюлозно-бумажной отрасли. На уровне государственных органов прогнозные модели позволяют планировать стоимостной экспортно-импортный оборот лесных материалов и выпуск продукции отраслями лесопромышленного комплекса (ЛПК).

Целью исследования является разработка методического инструментария и практических рекомендаций по прогнозированию ценовой динамики на целлюлозу российских и мировых производителей.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

провести экономико-математический анализ динамики цен на целлюлозу разных видов, идентифицировать временные ряды и формально их описать; разработать математические модели для временных рядов цен на целлюлозу разных видов;

в результате апробации оценить эффективность разработанных моделей временных рядов цен и выделить наиболее адекватные модели, пригодные для построения прогноза цен;

качественно и количественно сопоставить составляющие временных рядов на разные виды целлюлозы российских и мировых производителей;

разработать сценарные прогнозы цен для анализируемых объектов на разные периоды времени на основе соединения структурных компонентов временного ряда.

Объектами исследования являются предприятия, производящие целлюлозу на российском и мировом рынках. Предметом исследования являются статистические показатели, характеризующие уровень и динамику цен на основные виды целлюлозы, т.е. цен, которые действуют в международной торговле целлюлозой и распространяются на значительную часть товарооборота на мировом целлюлозно-бумажном рынке.

Исследование временных рядов цен на беленую и небеленую сульфатную (СФА) целлюлозу российских и мировых производителей проводилось за длительный период времени. Выборки цен на целлюлозу сделаны по разным видам целлюлозы (беленая СФА и небеленая СФА) и по разным территориям производства и обращения (Россия и мировой рынок). В качестве источников информации для исследования цен на целлюлозу российских производителей использовались данные Федеральной службы государственной статистики, Федеральной таможенной службы [4], хозяйствующих субъектов и других источников. Информация по объемам и ценам на целлюлозу мировых производителей основывалась на данных международных статистических организаций: ФАОСТАТ – Статистическая комиссия и Статистический отдел Организации Объединенных Наций [6]; Евростат – статистическая организация

Европейского Союза [1]; Index Mundi – портал фактических и статистических данных из скрытых источников [8]; Foex Index Ltd. – информационно-аналитический портал мировой целлюлозно-бумажной промышленности.

Для исследования цен на целлюлозу на мировом рынке особенно интересна информация Foex Index Ltd. [7], которая предоставляет ценовые индексы целлюлозно-бумажной промышленности, т. е. текущие средние цены на основные виды продукции по европейскому, американскому и азиатскому рынкам.

Выборки цен на целлюлозу составлялись в таком объеме, чтобы быть статистически представительными и максимально достоверно отображать исследуемую совокупность. При подготовке ценовых данных на целлюлозу соблюдалось важное условие сопоставимости уровней интервального ряда. В этих случаях рекомендовано проводить периодизацию временных рядов, типологическую группировку во времени [7]. В связи с обязательностью данного требования при подготовке данных для исследования все интервальные ценовые данные сформированы в отдельные базы данных по месту происхождения, месту обращения, интервалу и временному периоду. При формировании всех баз цен на целлюлозу учитывалось другое важное условие – соблюдение достоверности количественных и качественных характеристик изучаемых явлений в динамике. Следует учитывать и другой сложный момент для построения временных рядов цен на целлюлозу – это определение оптимального размера выборки, от которого зависит достоверность и качество моделей прогнозирования. При сложности данного вопроса и отсутствии точных количественных рекомендаций выборки цен составлялись по всем имеющимся данным, что привело к объемным ценовым рядам, часть которых пришлось разбивать на меньшие множества по совокупному объему данных.

По временному критерию разработано несколько баз цен на целлюлозу, которые использовались для построения временных рядов цен. Самая объемная по временному охвату база данных ежегодных цен на российскую целлюлозу включает цены с 1961 г. по 2012 г. Другие базы цен менее продолжительны, но более детальные, так как объединяет еженедельные, ежемесячные и квартальные данные. Так, база ежемесячных цен на беленую целлюлозу Index Mundi включает данные с октября 1982 г. по 2012 г. Еженедельные цены европейских производителей фиксируются с 1996 г. по данным Foex Index. Ежемесячные экспортные цены российских производителей белой и небеленой целлюлозы систематизированы с 1996 г. по 2012 г. В исследовании использованы экспортные цены ведущих российских целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) (по данным таможенной статистики), поставляющих на мировой рынок около 85 % целлюлозы разных видов от общего объема экспорта целлюлозы РФ (по данным за 2012 г.). Это ряд предприятий, входящих в «Группу Илим», и комбинаты Северо-Западного региона, производящие беленую и небеленую сульфатную целлюлозу из хвойной и лиственной древесины. Для исследования подготовлено 8 выборок цен на целлюлозу по шести

российским ЦБК (по двум ЦБК исследованы выборки на небеленую и беленую), но в статье точные названия предприятий не приводятся по соображениям конфиденциальности.

Анализ временных рядов цен на целлюлозу проводился на основе данных с разным интервалом. Среднегодовые цены на целлюлозу необходимы для определения общей динамики и тренда. Для исследования сезонности потребовались данные с очень кратким интервалом, что усложнило работу в связи с подготовкой базы еженедельных цен на целлюлозу. И, наоборот, для сопоставления, обобщения и ряда исследований еженедельные и ежемесячные цены пересчитаны в квартальные данные. Основная часть исследования проводилась с ежемесячными и квартальными ценами на целлюлозу.

По месту происхождения выделены репрезентативные базы цен российских производителей и европейских производителей на мировом рынке. Выделить цены производителей Америки и цены целлюлозы на товарном рынке Китая в отдельные исследовательские базы возможно в перспективе. По первому мировому региону фиксация цен производится с ноября 2002 г., по Китаю – с начала 2008 г., но такой непродолжительный временной период не может быть использован в настоящем исследовании.

Вышеизложенное показывает, что обработан большой объем последовательных данных по ценам и структурирован по разным критериям в базы с соблюдением обязательных требований, необходимых для исследования временных рядов. В результате одинакового подхода к проведению наблюдений на разных этапах формирования динамического ряда выполнены следующие требования к исходным данным [5]:

- полнота;
- сопоставимость (уровни ряда имеют одинаковые единицы измерения, шаг наблюдений, интервал времени, методику расчета);
- однородность (отсутствуют сильные изломы тенденций и аномальные наблюдения);
- устойчивость тенденции (закономерность преобладает над случайностью в изменениях уровней ряда).

Таким образом, статистические данные, представленные в виде временных рядов, сопоставимы по территории, кругу охватываемых объектов, единицам измерения, моменту регистрации, достоверности. Поэтому выборки можно считать репрезентативными, а выводы, основанные на изучении этой выборки, достаточно точно отражают процессы исходной совокупности.

Нами исследованы модели временных рядов цен на целлюлозу разных видов с использованием методов математической статистики [5]. Общая схема исследования динамики цен на целлюлозу представлена в табл. 1.

На третьем этапе производились последовательные действия по декомпозиции временных рядов цен на целлюлозу на составные компоненты и их анализ. Для определения тренда применялся прием выравнивания

Таблица 1

## Схема исследования временных рядов цен на целлюлозу

Этап	Содержание этапа
1. Установочный и априорный	Анализ экономической природы изучаемого явления, определение целей моделирования
2. Информационный	Сбор статистической информации (регистрация значений на разных временных тактах)
3. Параметризация, построение и идентификация моделей	Выбор вида модели (состава и формы, входящих в нее связей), статистический анализ модели
4. Верификация моделей и содержательный анализ прогноза	Сопоставление реальных и модельных данных, проверка адекватности модели, оценка точности модельных данных
5. Разработка сценариев прогноза	Корректировка прогноза в соответствии с экономическими и политическими перспективами

временных рядов методами скользящих средних и наименьших квадратов. Затем рассчитывались уравнения для выявленных тенденций временных рядов цен на целлюлозу. Периодическая зависимость временных рядов измерялась с помощью автокорреляции (корреляции между самими членами ряда). Далее разрабатывались аддитивные и мультипликативные тренд-циклические модели. Для отдельных временных рядов были разработаны следующие модели: регрессии с переменной структурой (с фиктивными переменными); тригонометрической регрессии (с использованием гармоник с 1 по 6). В конце исследовались остаточные компоненты и определялись погрешности моделей.

Для исследования временных рядов цен на целлюлозу применялся программный пакет Microsoft Excel со встроенными математическими и статистическими функциями. Статистический анализ цен на целлюлозу выполнялся в MS Excel специальной надстройкой «Анализ данных». В ней были задействованы разные модули, но в большей степени использовались корреляция, описательная статистика, скользящее среднее, регрессия. При обработке больших массивов данных использовались программа для прогнозирования в MS Excel Forecast4AC PRO и программа Statistica.

При разработке моделей цен на целлюлозу не требуется оценивать влияние всех факторов, так как исследуемые временные ряды цен на целлюлозу формировались под действием многочисленных факторов и отражали реальную закономерность процесса. Это означает, что используемый метод учитывает все многообразие условий существования зависимой переменной (цены) и ее реакции на них. Но с точки зрения качественного прогнозирования важно выделение основных факторов и получение дополнительной информации об их варьировании и перспективах. С этой целью проведен сравнительный анализ динамики экспортных цен на российскую целлюлозу и стоимостного объема ВВП, корреляционный анализ с динамикой цен на другие экспортно-сырьевые ресурсы и начат ряд других исследований. Полный анализ влияния

факторов на динамику цен на лесобумажную продукцию с помощью методов многомерной статистики выделен в отдельное исследование. В рамках перспективного исследования запланированы факторный и кластерные анализы. Отметим, что динамика внутренних и мировых цен на лесобумажную продукцию определяется большим числом факторов, среди которых можно выделить состояние национальной и мировой экономики, структурные характеристики спроса на лесобумажную продукцию в разных сегментах целлюлозно-бумажного рынка, зависимость основных стран-потребителей от импорта лесосырьевых стран, уровень эффективности технологий, характер мирового производства и экспорта лесных материалов.

Факторы, оказывающие действие в краткосрочном периоде, формируют сезонные и циклические колебания, и к ним, прежде всего, относится сбалансированность объема и структуры спроса и предложения. Хотя среди экономистов не существует единого мнения относительно цикличности и причин ее возникновения, но большинство связывают цикличность с оборотом деловой активности. К факторам второй группы относятся события, оказывающие существенное влияние на трендовый уровень цен на лесобумажную продукцию в длительном периоде. Долгосрочные тенденции отдельных рынков связаны с состоянием национальной и мировой экономик и определяют уровень доходов и качество жизни населения (соответственно, и потребление лесобумажной продукции), с политической ситуацией, социальными и демографическими явлениями в стране и мире. На уровень и динамику цен значительно влияют инновационное развитие и новые научно-технологические решения в различных отраслях промышленности, экосберегающие и биотехнологии. Таким образом, развитие мировой экономики в средне- и долгосрочном периодах характеризуется достаточно высокой степенью неопределенности, т. е. следует учитывать разные факторы развития мирового сообщества, на основании которых корректировать прогнозные оценки формирования лесопромышленного комплекса с помощью неформализованных методов.

Процесс построения прогноза включает исследование свойственных ЛПК и целлюлозно-бумажному рынку характера трендов, сезонных и циклических процессов. В данном исследовании изучению тренда, являющегося систематической компонентой, придается большое значение. Временные ряды цен на целлюлозу разных производителей имеют разный объем данных, что потребовало анализа каждого ряда в отдельности и их соизмерения. Так, самый длительный временной ряд экспортных среднегодовых цен на российскую целлюлозу всех видов содержит данные за 50-летний период. В результате разгруппировки выявлено, что ряд содержит разные по продолжительности и направленности тренды (рис. 1). Выявлено два долгосрочных возрастающих тренда: 25-летний до 1990 г. и 10-летний с 2002 г., продолжающийся по настоящее время. Основная тенденция динамики цен на российскую целлюлозу всех видов с 1961 г. по 1987 г. отразила существовавшие экономические условия того времени. Первые десятилетия послевоенного времени стали

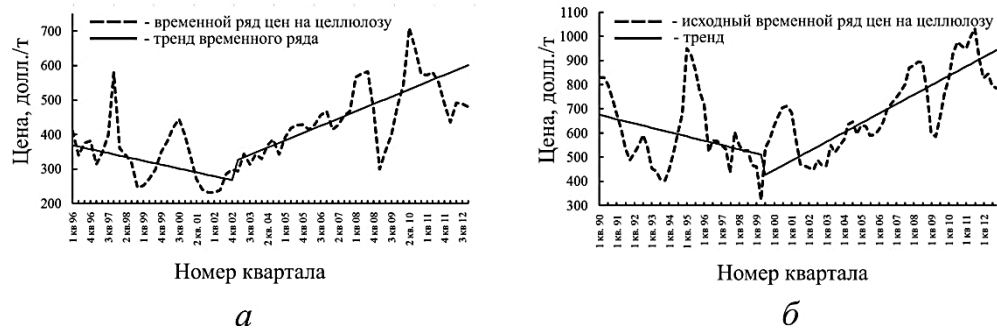


Рис. 1. Тенденция временного ряда цен на целлюлозу: *а* – белая СФА российских производителей (с 1996 г. по 2012 г.); *б* – белая целлюлоза мировых производителей (по данным Foex Index Ltd., с 1990 г. до 2012 гг.)

периодом всемирного экономического роста и развития международной торговли. Средние темпы роста ВВП в СССР и других странах достигали 6 %, в Японии – 10 % [1]. В 1961 г. цена на целлюлозу в СССР составляла 110 долл./т, к 1982 г. она увеличилась до 431 долл./т., т. е. практически в 4 раза, а затем несколько лет колебалась возле этого уровня (табл. 2).

Если до 1991 г. отмечен долгосрочный возрастающий тренд или стабильность, как на участке с 1961 г. по 1967 г., то анализ периода с 1990 г. до 2002 г. выявил краткосрочные перепады, которые близко отражают циклы. Другая особенность динамики цен данного периода в том, что время фаз спада и подъема совпадает с расчетным интервалом цикличности. Возможно, действие случайных факторов маскирует циклическую компоненту на данном временном отрезке, а последующий длительный спад и рецессия влияют на формирование циклов. Резкие перепады цен на рынке целлюлозно-бумажной продукции, как было отмечено выше, кроются в разрушении торговых связей

Таблица 2  
Динамика цен на целлюлозу российских производителей (1967 – 1987 гг.)

Год	Цена, долл./т, на целлюлозу		Год	Цена, долл./т, на целлюлозу	
	всех видов	небеленую СФА		всех видов	небеленую СФА
1967	115,05	–	1978	308,14	308,23
1968	122,48	124,55	1979	345,23	366,53
1969	127,29	119,26	1980	372,95	395,69
1970	135,00	116,32	1981	387,86	383,38
1971	147,35	130,47	1982	430,79	433,73
1972	159,90	146,11	1983	427,62	430,00
1973	182,16	171,28	1984	431,08	434,24
1974	208,45	220,95	1985	429,02	431,37
1975	239,38	236,20	1986	428,88	437,16
1976	273,10	273,66	1987	430,23	438,11
1977	297,84	299,94			

в период кризиса социалистической системы народного хозяйства в 1991–1995 гг. Переходный период российской экономики к рыночным отношениям и распад СССР привели к резкому сокращению товарооборота между бывшими республиками. Предприятия устанавливали новые экономические связи исходя из экономической целесообразности и собственных возможностей.

С 1991 г. цены устремились вниз: в 1991 г. снижение цен на целлюлозу достигло 27 %, в 1992 г. – 49 %. Трехкратное по сравнению с 1990 г. падение цен остановилось на историческом минимуме в 221 долл./т., который наблюдался в 1974 г. С конца 1993 г. по 1995 г. отмечен рост цен на целлюлозу. Цена за 2 года увеличилась более чем в 3 раза, достигнув 686 долл. /т. Данный уровень цен на целлюлозу стал рекордным не только на представленном временном участке, но и за весь наблюдаемый (с 1961 г.) 33-летний период.

При исследовании временного ряда цен на беленую СФА целлюлозу по данным Index Mundi [8] получены долгосрочные возрастающие тренды в начале участка с 1982 г. по 1990 г. и в конце участка с 2002 г. по 2013 г. Временные отрезки динамики цен на беленую СФА целлюлозу мировых производителей по данным Index Mundi с 1990 г. до 2002 г. содержат кратковременные тренды продолжительностью от 2 до 5 лет, которые не относятся к циклическим, так как имеют разные периоды колебаний. Данные изменения тренда в ценовой динамике связаны с тем, что после 1990 г. в международном сообществе начался период структурных экономических преобразований. В это время бывшие социалистические страны начали переход на рыночные отношения. Формировались мировые замкнутые экономические сообщества и группировки, которые способствовали активизации процессов регионализации и созданию зон экономического и политического влияния [1]. Все это поясняет полученные результаты исследования тенденций динамики цен на целлюлозу мировых производителей.

Анализ временных рядов цен на беленую СФА целлюлозу мировых производителей по данным Foex Index Ltd. [7] показал результаты, идентичные результатам, полученным по данным Index Mundi за период с 1990 г. до 2012 г., что говорит об их достоверности. В результате детального анализа 23-летнего временного ряда цен выделены краткие тренды с 1990 г. до 2002 г. В этот период зафиксирован первый рекордный уровень цен на целлюлозу за всю историю рынка, когда в октябре 1995 г., цена на целлюлозу поднялась до 1000 долл./т. Длительный возрастающий тренд выявлен на участке с 2002 г. по 2013 г. (рис. 1), и на данном тренде установлен второй ценовой рекорд. Цена на целлюлозу Pulp NBSK по данным Foex Index Ltd. в августе достигла 1103,8 долл./т.

Форма тренда всех временных рядов цен на целлюлозу одинакова. Отправная точка длительных возрастающих трендов всех временных рядов – 2002 г. Данный тренд является долгосрочным и сохраняется по настоящее время. Функции, описывающие возрастающие тренды всех временных рядов,

имеют достаточно близкие линейные коэффициенты уравнений тренда. Различие динамики цен на беленую и небеленую СФА целлюлозу российских и мировых производителей по трендовой составляющей в период с 2002 г. по 2012 г. проявляется в темпах роста. Ежегодный трендовый темп роста цен на беленую и небеленую сульфатную целлюлозу российских производителей составляет около 3,7 %, что выше темпа роста цен на целлюлозу мировых производителей в среднем на 0,5 %. Данная особенность связана со становлением рыночных позиций России и укреплением товарооборота на мировом рынке целлюлозы. Нам известно мнение многих экспертов рынка, которые показывают, что в период распада СССР и конца 90-х гг. существовала ценовая сегрегация и занижение цен на продукцию российских экспортеров. После окончания дискриминации на экспорт российской целлюлозно-бумажной продукции темпы роста экспортных цен России показывали более высокие значения.

Наряду с долговременными тенденциями во временных рядах цен на целлюлозу присутствуют циклические колебания. Применяемые нами методики выявления циклической компоненты широко распространены в прикладной статистике. В результате исследования выявлены количество, период, амплитуда и другие свойства циклов (рис. 2). Проявление цикличности во временных рядах цен на целлюлозу отмечено с 1995 г., но устойчивый характер цикличность приобрела с 1998 г.

Моделировать циклическую компоненту можно разными способами. Если моделировать циклическую компоненту с помощью фиктивных переменных (поскольку период  $T = 14$ , вводится 13 дополнительных факторов, каждый из которых соответствует кварталу), получим следующее регрессионное уравнение:

$$y_t = -10,184 - 25,521x_1 - 34,444x_2 - 29,566x_3 - 26,786x_4 + 26,191x_5 + 32,148x_6 + 61,156x_7 + 67,582x_8 + 76,350x_9 + 64,078x_{10} + 35,772x_{11} + 10,462x_{12} - 1,234x_{13}.$$

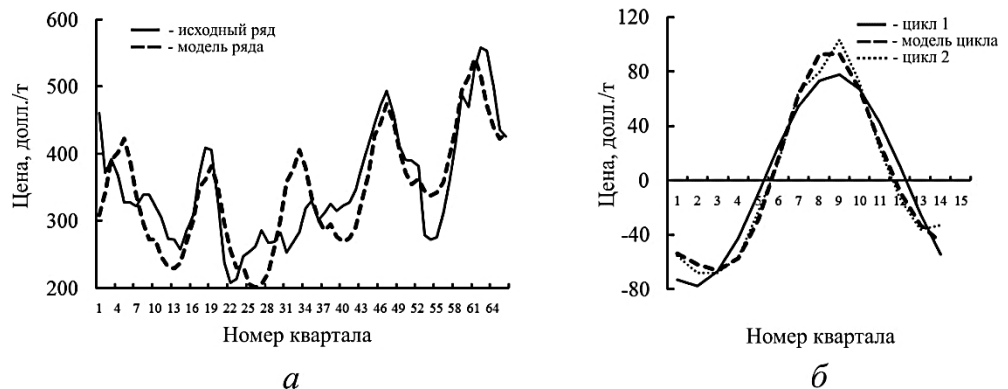


Рис. 2. Аддитивная модель и модель цикла временного ряда цен на целлюлозу российских производителей (с 1998 г. по 2012 г.): а – исходный ряд и модельный ряд; б – модель цикла



Модель тригонометрической регрессии (с использование гармоник с 1 по 6):

$$y_t = 0,0033 - 54,2689 \cos\left(\frac{\pi}{7}t\right) - 55,904 \sin\left(\frac{\pi}{7}t\right) + \\ + 8,512 \cos\left(\frac{2\pi}{7}t\right) + 17,6347 \left(\frac{2\pi}{7}t\right) + \\ + 6,3334 \cos\left(\frac{3\pi}{7}t\right) + 1,4587 \left(\frac{3\pi}{7}t\right) + \\ + 0,4785 \cos\left(\frac{4\pi}{7}t\right) - 2,0792 \left(\frac{4\pi}{7}t\right) - \\ - 0,1086 \cos\left(\frac{5\pi}{7}t\right) + 1,8082 \left(\frac{5\pi}{7}t\right) + \\ + 0,0 \cos\left(\frac{6\pi}{7}t\right) + 0,0646 \left(\frac{6\pi}{7}t\right).$$

Выявленные циклы исходного временного ряда цен на небеленую сульфатную целлюлозу российских ЦБК представлены в табл. 3. В настоящее время динамика цен на целлюлозу показывает, что происходит вторая фаза нового цикла.

В построенных моделях цен на небеленую сульфатную целлюлозу российских ЦБК выявлено, что цикл состоит их четырех фаз: рецессии, подъема, максимума, спада (рис. 2). Начинаются циклы с фазы трехквартальной рецессии, которая сменяется фазой роста. Рост цен на целлюлозу длится 6 кварталов и максимум приходится на 9-10 кварталы. Четвертая фаза, в течение которой наблюдается падение цен на целлюлозу, длится 5 кварталов. В совокупности снижение цен происходит в течение более длительного периода

Таблица 3

**Циклы исходного временного ряда цен (долл./т) на небеленую СФА  
российских производителей с учетом тренда**

Номер периода цикла	Номер цикла (начало цикла)				
	1 (с 4 кв. 1998 г.)	2 (с 2 кв. 2002 г.)	3 (с 4 кв. 2005 г.)	4 (с 2 кв. 2009 г.)	5 (с 4 кв. 2012 г.)
1 кв.	305,34	253,69	314,79	278,74	403,00
2 кв.	273,44	261,84	322,89	272,83	420,10
3 кв.	272,54	285,86	327,96	275,87	—
4 кв.	258,13	268,23	345,53	313,18	—
5 кв.	284,71	269,28	380,38	360,50	—
6 кв.	308,19	282,38	414,29	417,30	—
7 кв.	370,10	253,23	444,62	488,71	—
8 кв.	409,65	269,31	472,55	470,51	—
9 кв.	406,08	283,61	494,55	529,61	—
10 кв.	324,14	318,22	460,29	558,64	—
11 кв.	238,94	330,56	411,13	554,13	—
12 кв.	207,84	301,25	391,01	499,47	—
13 кв.	213,23	311,39	389,47	436,04	—
14 кв.	247,53	326,02	382,31	426,14	—

(8 кварталов) по сравнению с положительной динамикой цен. При анализе моделей цикла без учета тренда выявлена разница между первой и третьей фазами, которая составляет около 150 %, или 150...160 долл./т в абсолютных ценах. Сами циклы без трендовой составляющей различаются темпами роста и спада. В первом и втором циклах рост цен в третьей фазе достигает 98...104 %. Второй цикл отличается незначительным (на 31 %) приростом цен в третьей фазе, а также более низкими по сравнению с другими циклами, ценами во всех фазах цикла. В третьем цикле рост цен в пиковой фазе и к концу цикла не столь велик, как в первом и четвертом циклах (+ 58 %).

Аналогичные циклы отмечены в динамике экспортных цен на беленую сульфатную целлюлозу других российских ЦБК. Структура цикла близка к рассмотренным выше, но выявлены и отличия. Циклы отличаются абсолютными и относительными приростами фазовых цен. Другое отличие выявлено в общем количестве устойчивых циклов. Во временных рядах цен на беленую сульфатную целлюлозу российских ЦБК выделено 2 цикла по 11 кварталов в начале участка до 2001 г. и 2 цикла продолжительностью 13-14 кварталов в конце участка с 2006 г. по 2012 г. В период с 2001 г. по 2005 г. происходит перестройка циклического процесса, что, возможно, связано со сменой понижающего тренда на возрастающий. Причин трансформации циклическости может быть множество, в том числе: продажа продукции по долгосрочным трейдерским контрактам, изменения сбытовой политики предприятий и логистических каналов.

Циклы временного ряда цен на беленую СФА целлюлозу по данным Index Mundi имеют структуру, аналогичную циклам на российскую целлюлозу (рис. 3).

Так как временной ряд мировых цен анализируется по ежемесячным данным, то продолжительность и фазы цикла измеряются месяцами. Общая продолжительность цикла составляет 42 мес., или 14 кварталов, и совпадает с

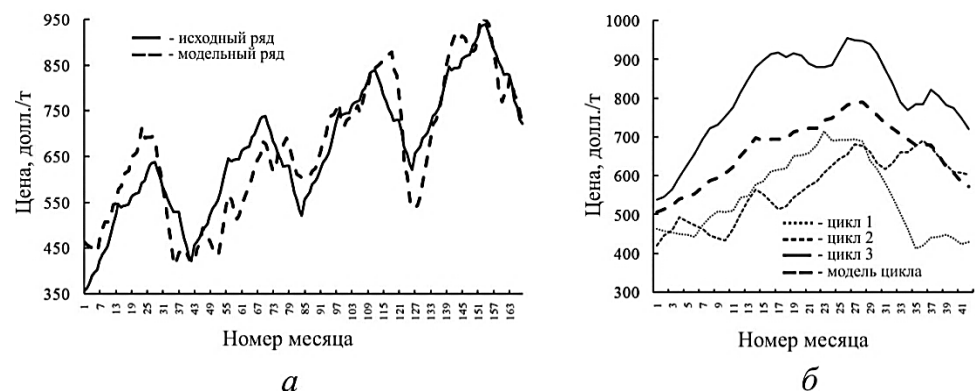


Рис. 3. Модель временного ряда цен на целлюлозу по данным Index Mundi (с 1998 г. по 2012 г.) с учетом тренда: *а* – исходный ряд и модельный ряд; *б* – модель цикла

продолжительностью циклов цен на российскую целлюлозу. Фазовая динамика цен на целлюлозу близка во всех четырех циклах. Прирост пиковых цен в третьей фазе по сглаженному временному ряду, элиминированному от тренда, составляет 200 % в относительном измерении, или ~ 250 долл./т в абсолютном измерении. Следует отметить, что колебания цен в фазах роста и падения более существенны, чем в циклах на российскую целлюлозу.

Циклическая компонента временного ряда цен на беленую СФА целлюлозу по данным Foex Index Ltd. аналогична рассмотренным выше (табл. 4), где представлены 4 полных цикла по данным Foex Index несглаженного поквартального временного ряда цен на целлюлозу, которые имеют одинаковый характер и структуру. В трендовых циклах относительные приросты цен мировых производителей по данным Foex Index в фазах составляют 40...76 %. Абсолютные фазовые приросты цен суммируются с трендовыми и достигают высоких уровней (от 180 до 450 долл./т).

В представленных моделях временных рядов цен на целлюлозу присутствует циклическая компонента, установленная функцией автокорреляции. При изучении автокоррелограмм временных рядов цен на целлюлозу, которые показывают численно и графически автокорреляционную функцию (АКФ), определена длина цикла, равная 11–14 кварталам. Последние циклы всех временных рядов цен на целлюлозу, начиная с 2006 г., имеют период 14 кварталов. Выявлена отправная точка цикличности в динамике цен на целлюлозу разных производителей и рынков товарообращения – второй квартал 1995 г., но более четкое проявление циклической динамики начинается в четвертом квартале 1998 г. Циклы имеют совпадающую структуру и длительность фаз.

Таблица 4

**Циклы с учетом тренда временных рядов цен на целлюлозу (долл./т)  
мировых производителей по Foex Index**

Номер периода цикла	Номер цикла (начало цикла)			
	1 (с 1 кв. 1999 г.)	2 (с 3 кв. 2002 г.)	3 (с 1 кв. 2006 г.)	4 (с 3 кв. 2009 г.)
1 кв.	460,08	486,62	611,81	658,01
2 кв.	322,42	464,46	646,39	759,36
3 кв.	534,73	463,18	699,61	826,89
4 кв.	573,47	547,87	723,37	927,88
5 кв.	627,34	519,35	746,78	976,35
6 кв.	670,04	545,48	770,81	959,47
7 кв.	704,43	570,84	801,48	949,51
8 кв.	710,26	635,57	869,64	1001,11
9 кв.	683,75	646,16	880,01	1032,14
10 кв.	577,54	595,42	894,05	903,44
11 кв.	470,35	633,49	890,27	827,19
12 кв.	464,46	625,55	769,57	845,14
13 кв.	456,43	588,75	600,46	794,91
14 кв.	446,73	593,81	584,70	784,58

В первой фазе цены наименьшие и длится она 2-3 квартала. Вторая фаза характеризуется ростом цен на целлюлозу в течение 5-6 кварталов. Максимальных цен целлюлоза достигает к 10-11 кварталу. На последнюю фазу цикла приходится снижение цен на целлюлозу в течение 4-5 кварталов. Следует отметить общую черту циклов всех временных рядов цен на целлюлозу – снижение цен происходит в течение более длительного периода (8 кварталов) по сравнению с положительной динамикой цен.

Для всех временных рядов цен на беленую и небеленую СФА целлюлозу характерен значительный перепад цен в фазах роста и спада. Причем фазовая разница цен на целлюлозу мировых производителей более существенна, чем на целлюлозу российских производителей. Так, циклы на целлюлозу мировых производителей, элиминированные от тренда, показывают изменения между минимальной и максимальной ценой на 250... 260 долл./т. Для циклов на российскую беленую и небеленую СФА целлюлозу данный показатель колеблется в пределах 150...160 долл./т. С учетом трендовых приростов изменения цен между фазами увеличивается (табл. 5). Данный синергический эффект наблюдается для всех временных рядов цен на целлюлозу в силу единого возрастающего тренда.

Таким образом, исследованные временные ряды цен на целлюлозу имеют сложную структуру, и прогнозировать по ним значительно труднее в силу того, что необходимо учитывать и совмещать в прогнозе все компоненты временного ряда. На основании разработанных моделей временных рядов цен на целлюлозу были построены прогнозные сценарии динамики цен разных исследуемых объектов. Достоверный прогноз по созданным моделям можно представить на 1,5–2 цикла. Прогноз с удлинением периода менее точен, так как расширяется доверительный интервал. Более точные прогнозы полезно строить на базе адаптивных моделей, но время такого прогноза непродолжительно. Для подготовки более длительных прогнозов необходимо разрабатывать несколько сценариев прогноза с учетом ряда общеэкономических факторов. Кроме того, для учета новых экономических тенденций рекомендуется

Таблица 5

**Сравнение циклических минимальных (min) и максимальных (max) цен на целлюлозу различных производителей**

Целлюлоза	Цена производителя, долл./т							
	1-й цикл		2-й цикл		3-й цикл		4-й цикл	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Небеленая СФА российских ЦБК	207	410	253	331	314	495	273	559
Беленая СФА: российских ЦБК	232	497	239	422	415	583	352	581
по данным Index Mundi	413	714	421	691	538	871	539	955
по данным Foex Index	422	710	463	646	594	895	585	1032

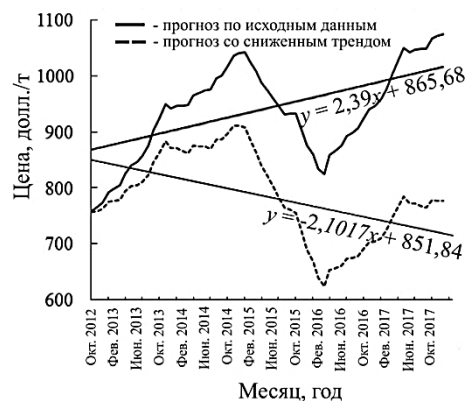
регулярно уточнять прогнозные модели на основе мониторинга фактических цен на лесобумажную продукцию разных рынков, добавляя их или заменяя ими данные статистической базы, на основе которой строятся модели.

Для всех анализируемых объектов разработаны среднесрочные прогнозы и два-три сценария долгосрочных прогнозов на базе протестированных наиболее адекватных моделей. На рис. 4 представлен прогноз для российских ЦБК на 17 – 22 квартала, построенный по аддитивной модели. Прогнозные сценарии для динамики мировых цен на целлюлозу по данным Index Mundi представлены со второго полугодия 2012 г. по 2017 г. (рис. 4). Варианты развития динамики цен на целлюлозу мировых производителей созданы с учетом замедляющихся темпов роста мирового рынка.

В заключение следует отметить, что разработанные модели временных рядов цен на целлюлозу российских и мировых производителей сопоставимы и не имеют существенных различий по качественным и количественным характеристикам. Полученные модели достоверно отражают процесс изменения цен на целлюлозу, что подтверждается сравнением наблюдаемых и модельных данных. В результате апробации прогнозных моделей цен на целлюлозу предложены наиболее адекватные модели. В соответствии с проведенным исследованием разработан 5-ступенчатый алгоритм прогнозирования ценовой динамики и сформулированы основные требования к моделям для долгосрочного проектирования цен на продукцию в условиях изменения рынка целлюлозно-бумажной продукции. На основании разработанных моделей временных рядов цен на целлюлозу были построены прогнозы динамики цен для трех российских предприятий ЦБП и спроектирована динамика мировых цен на целлюлозу по данным Index Mundi и Foex Index на перспективу до 2017 – 2020 гг.



а



б

Рис. 4. Прогноз цен на целлюлозу на 17 – 22 квартала, построенный на основе разработанных моделей: а – небеленая СФА целлюлоза российских ЦБК; б – белая целлюлоза мировых производителей (по данным Index Mundi)

Следует отметить, что апробированная схема анализа временных рядов может быть использована при обработке ценовых данных и построении прогнозов на другие виды лесобумажной продукции. Более того, на основе моделирования динамики других экономических показателей можно разработать прогнозы стоимостного объема экспортно-импортного товарооборота в целом для страны, что будет положено в основу дальнейших исследований.

Разработанные модели открывают возможности прогнозирования ценовой динамики на длительный срок при отсутствии непредвиденных факторов хозяйственной деятельности и появления новых, ранее не наблюдававшихся факторов. Моделирование поведения динамики цен на разные виды лесобумажной продукции позволит определить ценовую политику на длительный период, что при выработке эффективных управленческих решений отразится на финансовой устойчивости хозяйствующих субъектов и лесного комплекса в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мировая экономика, финансы и статистика. Режим доступа: <http://www.globfin.ru>. Проверено: 22.03.2013.
2. Перспективное исследование по лесному сектору Европы 1960–2000–2020 гг.. Основной доклад. Режим доступа: [www.unecse.org/fileadmin/DAM/timber/publications/R\\_EFSOS.pdf](http://www.unecse.org/fileadmin/DAM/timber/publications/R_EFSOS.pdf). Проверено: 20.03.2013.
3. *Прешкин Г.А.* Анализ экономических факторов формирования стоимости лесных ресурсов // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 131–136. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Федеральная служба таможенной статистики. Режим доступа: <http://www.customs.ru>. Проверено: 20.07.2013.
5. *Шиловская Н.А.* Эконометрика: учеб. пособие. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 240 с.
6. FAOstat Режим доступа: <http://faostat.fao.org/>. Проверено: 22.03.2013.
7. FOEX Indexes Ltd. Режим доступа: <http://www.foex.fi>. Проверено: 22.03.2013.
8. Index Mundi. Режим доступа: <http://www.indexmundi.com>. Проверено: 22.03.2013.

Поступила 26.08.13

*O.P. Sushko, A.V. Plastinin, N.A. Shilovskaya*

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

#### **To the Question of Price Forecasting for Pulp and Paper Products on the World Market**

Econometric methods of price dynamics forecasting for timber industry products play an important role in the stable development of the industry and its enterprises.

The article presents an econometric analysis of pulp price dynamics that embraces both Russian and world producers. The research of price time series for bleached and unbleached sulphate pulp from Russian and world producers covers a long period of time. The

sampling of pulp prices is based on the data obtained from international and Russian statistical organizations. The process of forecasting includes a study of trend patterns and seasonal and cyclic processes that are typical of the timber industry. The trends identified for price time series for pulp are comparable. The starting point of all continuous and increasing trends is the year 2002. The given trends are long-term and continue at present. The difference in pulp price dynamics between Russian and world producers, according to the trend component from 2002 to 2012, can be observed in the rate of increase. The econometric analysis of time series showed the quantity, period, amplitude and other properties of cycles. Cycles lasting for 11 to 14 quarters have similar phase structure and length. The first phase has the lowest prices and lasts for 2 to 3 quarters. The second phase is characterized by the growth of pulp prices during the 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> quarters. Pulp reaches its maximum price by the 10<sup>th</sup> or 11<sup>th</sup> quarter. During the last phase of the cycle, another 5–6 quarters, the pulp price goes down. All price time series for pulp are characterized by significant price differences in the phases of growth and decline. Meanwhile, the phase difference in pulp price from world producers is more significant than that of Russian producers.

Medium-term forecasts and two or three scenarios of long-term forecasts have been developed on the basis of the most adequate models for all analyzed objects. These models allow us to forecast price dynamics in the absence of other unforeseen factors of business activity or emergence of new factors that have not been observed before. This proven scheme of time series analysis can be used to process price data for various types of timber and paper products.

*Keywords:* econometric price analysis, linear trend of pulp prices, cyclic recurrence, pulp price forecasting.

---



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

### **О РАБОТЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО СЕМИНАРА-СОВЕЩАНИЯ «ЭТАЛОННЫЕ И РАБОЧИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕПЛОФИЗИКИ»**

19-20 марта 2013 г. в Омске состоялся традиционный семинар-совещание. Цель семинара – трансляция практических и научных достижений ОАО НПП «Эталон» в области разработок и применения контактных и бесконтактных средств измерения температуры и других теплофизических величин, метрологического обеспечения измерительных средств.

На протяжении одиннадцати лет семинар пользуется огромной популярностью, о чем свидетельствуют неизменно большое количество участников (35...50 чел.) и обширная география от Дальнего востока (Хабаровский ЦСМ, Владивосток, Новосибирск) до Урала, Поволжья и Центральной России (Челябинск, Екатеринбург, Тюмень, Тольятти, Саратов, Ростов-на-Дону, Москва, С.-Петербург и др.). Постоянными участниками семинара являются представители Казахстана, Украины, Белоруссии. В последние годы в работе семинара участвуют on-line российские и зарубежные слушатели.

Семинар с первых лет своего существования фактически является международной научно-практической конференцией, так как на нем выступают не только разработчики и изготовители ОАО НПП «Эталон», представители промышленных предприятий и метрологических лабораторий, но и ведущие ученые России и ближнего зарубежья в области методов и средств измерения температуры, теплофизики и средств метрологического обеспечения. В работе семинара принимали участие такие ведущие ученые, как А.И. Походун, М.С. Матвеев, А.Ю. Соколов (ВНИИМ им. Д.И. Менделеева), А.В. Костановский (Институт высоких температур РАН), В.Я. Черепанов (СНИИМ), В.А. Медведев (РОСТЕСТ-Москва), сотрудники НИИ НПО «Луч») и др.

Бесспорно семинар открывает генеральный директор ОАО НПП «Эталон» В.А. Никоненко, инициативный с активной жизненной позицией руководитель. Его докладом задается деловая атмосфера семинара, обозначаются достижения предприятия, их место в российской и мировой экономике, ставятся задачи на будущее.

Специфика семинара 2013 г. – рассмотрение проблем температурного мониторинга протяженных объектов в условиях вечномерзлых грунтов.

Большой интерес вызвали доклады разработчиков ОАО НПП «Эталон» Д.Ю. Кропачева («Многозонные датчики температуры для мониторинга протяженных объектов в условиях вечномерзлых грунтов»), А.Ю. Неделько («Автономный логгер температуры высокомерзлых грунтов»), В.А. Флорина



(«Геотехнический мониторинг в условиях Крайнего Севера»). По этой же тематике были сделаны доклады сотрудников НИИ геофизики им. Булашевича УрО РАН, А.К. Юркова (г. Екатеринбург), В.О. Доманского (НИИ криогенных ресурсов Тюм. НЦ СО РАН, С.В. Якушкина (Тюменского ГНГУ).

Заинтересовало представленное инженером II категории ОАО НПП «Эталон» О.А. Демидовичем направление измерения температуры расплавов черных и цветных металлов до 1700 °С.

Подробно были освещены особенности конструкции контактных и бесконтактных средств измерения температуры и установок, их метрологическое обеспечение. Проведены экскурсии для участников семинара на рабочие места разработчиков, изготовителей и метрологов ОАО НПП «Эталон».

Поступила: 15.05.13.

*В.А. Захаренко*

Омский государственный технический университет

*V.A. Zakharenko*

Omsk State Technical University

**About the Training and Methodological Seminar “The Reference and Ordinary Measuring Instruments in Thermal Physics”**

---



ЮБИЛЕИ

УДК 630\*902.1

**СЕРГЕЙ ВЕНИАМИНОВИЧ ЗАЛЕСОВ**



27 октября 2013 г. исполнилось 60 лет со дня рождения проректора по научной работе, заведующего кафедрой лесоводства, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного лесовода РФ С.В. Залесова.

Сергей Вениаминович родился в дер. Паламахинская Мурашинского района Кировской области. С юных лет С.В. Залесов помогал семье, работая летом в колхозе, каждую свободную минуту он проводил на речке или в лесу. Последнее и определило выбор будущей профессии. После окончания 8-летней школы он поступает в Суводский лесхоз-техникум, который с отличием заканчивает в 1972 г. и работает старшим техником-лесоводом в Краснозатонском лесничестве Сыктывкарского горлесхоза Коми АССР, старшим инженером лесного хозяйства в Суводском лесхоз-техникуме, служит в армии, затем поступает на лесохозяйственный факультет Уральского лесотехнического института (ныне Уральский государственный лесотехнический университет). Окончив его в 1981 г. с отличием, Сергей Вениаминович был оставлен в институте на преподавательской работе, где прошел путь от ассистента до проректора по научной работе.

В 1986 г. С.В. Залесов успешно защищает кандидатскую, в 2000 г. – докторскую диссертации. В 2002 г. ему присваивается ученое звание профессора кафедры лесоводства.

За время работы в университете С.В. Залесов зарекомендовал себя как опытный педагог и ученый. Он является основателем научно-педагогической школы «Оптимизация лесопользования».

Под его руководством 5 студентов подготовили научные работы, отмеченные медалями на Всероссийском конкурсе научных работ, более 450 студентов защитили дипломные работы и проекты, 6 – магистерские диссертации, 64 аспиранта и соискателя – кандидатские, а 4 докторанта при его научном консультировании – докторские диссертации. Ученики С.В. Залесова работают во многих высших учебных заведениях лесного профиля, научных учреждениях, органах управления лесным хозяйством не только в РФ, но и за ее пределами.

Педагогическую работу С.В. Залесов успешно сочетает с проведением научных исследований, результаты которых опубликованы совместно с учениками и коллегами более чем в 500 научных работах. Среди них 3 учебника, 22 учебных пособия, 27 монографий, 6 патентов. Особо следует отметить активное участие С.В. Залесова в разработке нормативно-технических документов и методической литературы по совершенствованию лесного хозяйства. Им предложены и внедрены оригинальные способы рубок ухода, виды противопожарных барьеров.

Остается только удивляться широте вопросов, над которыми работает С.В. Залесов совместно с учениками. Им созданы и восстановлены уникальные научно-производственные и научные объекты по изучению лесоводственно-экономической эффективности рубок ухода, рубок спелых и перестойных насаждений, мониторингу лесных экосистем в условиях нефтегазодобычи и др. Производство высоко оценивает выполненные под руководством С.В. Залесова работы по рекультивации нарушенных земель.

Ежегодный объем госбюджетных и хоздоговорных работ, выполняемых под руководством С.В. Залесова, составляет 15...20 млн р. Не случайно по итогам работы в 2012 г. постановлением губернатора Свердловской области он удостоен высокого звания «Профессор года» в номинации «Естественные науки». С 2011 г. Сергей Вениаминович является международным консультантом по охране лесов от пожаров Республики Казахстан.

С.В. Залесов успешно сочетает научно-педагогическую работу с общественной деятельностью. Он член двух диссертационных советов по защите докторских диссертаций, заместитель председателя ученого совета университета, член коллегии Департамента лесного хозяйства Свердловской области, член научных редколлегий двух журналов из списка ВАК, действительный член Российской академии естествознания и член корреспондент Российской академии естественных наук.

За заслуги в подготовке высококвалифицированных специалистов лесного хозяйства, большой вклад в развитие научных исследований С.В. Залесов награжден почетными грамотами Госкомлеса СССР, ЦК профсоюзов рабочих Лесбумдревпрома, Минлесхоза РСФСР, губернаторов Свердловской области и Ханты-Мансийского автономного округа – Югра, агентств и департаментов лесного хозяйства ряда субъектов РФ, Министерства образования и науки; нагрудными знаками «За сбережение и преумножение лесных богатств России», «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации». Кроме того, он награжден медалями «За спасение утопающих», «60 лет Вооруженных Сил СССР» и др.

С.В. Залесов полон новых планов, он всегда в окружении учеников и коллег. Хочется от всей души пожелать юбиляру новых творческих успехов, талантливых и благодарных учеников, новых открытий.

*А.В. Мехренцев, С.И. Колесников, Н.Н. Костюков,  
С.В. Крайнов, Н.А. Шпак*

Уральский государственный лесотехнический университет

*A.V. Mekhrentsev, S.I. Kolesnikov, N.N. Kostyukov,  
S.V. Kraynov, N.A. Shpak*

The Ural State Forest Engineering University

**Sergey Zalesov**



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

**ЕВГЕНИЙ САМУИЛОВИЧ РОМАНОВ (1929–2013 гг.)**



31 октября 2013 г. ушел из жизни Е.С. Романов, ровесник АЛТИ, первый доктор экономических наук в Архангельской области.

Евгений Самуилович родился 2 декабря 1929 г. недалеко от Соловков, на берегу Онежской губы Белого моря, в деревне с чудским названием Пушлахта. Коренной северянин, он на протяжении всей своей жизни интересовался историей дославянского населения Севера. Очень рано остался без родителей. Воспитывался у сестры матери в Архангельске. Благодаря своему упорству и старанию сначала получил среднее, а затем и высшее образование по лесоинженерной специальности, но инженером по этой отрасли так и не стал. Сознательно избрав профессию экономиста, он никогда не пожалел о своем выборе и успешно сочетал эти две профессии на протяжении всей трудовой деятельности. Более того, не без основания был убежден в том, что любой экономист обязан знать производство.

Евгений Самуилович прошел все этапы становления ученого, педагога высшей школы. Он начал трудовую деятельность в 1952 г., работая ассистентом, одновременно учился в аспирантуре. Кандидатскую диссертацию защитил в 1961 г., докторскую – в 1986 г. Обе диссертации неслучайно посвящены лесозаготовкам.

В процессе работы над докторской диссертацией многократно приглашался в Минлеспром СССР, материалы его диссертации использованы при разработке инструкции по расчету производственных мощностей по вывозке леса. По этой инструкции в 1978 г. проводили единовременный учет производственных мощностей леспромхозов.

В 1967 г. он был назначен заместителем главного редактора «Лесного журнала» и в этом качестве проработал несколько десятилетий. Работая на этой должности, Евгений Самуилович демонстрировал энциклопедический склад ума, высокий профессиональный уровень. Много сил и времени он отдавал кропотливому редакторскому труду. Во многом благодаря его творческому подходу, умению, стараниям «Лесной журнал» сохранял статус научного издания.

В общей сложности Е.С. Романов проработал непрерывно в родном университете на различных должностях почти 60 лет, совершая настоящий трудовой подвиг. По всей вероятности, это является университетским рекордом.

Он награжден медалью «Ветеран труда», серебряной медалью В.И. Вернадского, нагрудными знаками Минлесхоза РСФСР, Минвуза СССР, Минобразования России, имеет почетное звание «Заслуженный экономист Российской Федерации» и «Ветеран Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова».

Евгений Самуилович всегда был примером для своих коллег, большинство сотрудников Института экономики и управления САФУ по праву считают его своим учителем и всегда будут помнить его имя.

*Я.Ф. Молнар  
доцент, кандидат экономических наук*

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»  
в 2013 г.

- Болгова О.Н.** Материалы о состоянии лесного дела в Архангельской губернии на страницах «Лесного журнала» (1833–1918 гг.). № 5-21.
- Мерзленко М.Д.** «Лесному журналу» – 180 лет. № 2-7.
- Наквасина Е.Н.** «Лесному журналу» – 180 лет (к юбилею «Лесного журнала»). № 5-14.
- Памфилов Е.А.** К выходу в свет указателя статей ИВУЗ «Лесной журнал» за 1958 – 2012 гг. № 5-29.
- Трубин Д.В.** История формирования научного наследия «Лесного журнала» и его роль в развитии лесного комплекса. № 5-7.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Ole Jakob Sorensen, Toralf Bjelkåsen, S.V. Ivantsov.** Examples of the Internal Stand Structures (α-Diversity in) Old Growth Forest in the Yula River Basin – Arkhangelsk Region. № 2-98.
- Ананьев В.А., Мошников С.А.** Лесоводственно-экологическая оценка выборочных и постепенных рубок в защитных лесах Северного Приладожья. № 5-106.
- Бабиков Б.В.** Становление и развитие гидромелиорации в лесном хозяйстве. № 2-53.
- Бабич Н.А., Корчагов С.А., Коношатов О.А., Стребков Н.Н., Лупанова И.Н.** Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства. № 2-74.
- Беляева Н.В., Грязькин А.В., Гуталь М., Калинин П.М.** Влияние технологии несплошных рубок и состава материнского древостоя на успешность возобновления ели. № 5-39.
- Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н.** Образование и лигнификация ксилемы плосовых деревьев сосны обыкновенной. № 2-45.
- Брынцев В.А., Храмова М.И.** Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции. № 6-38.
- Волокитина А.В., Софронова Т.М., Белякин А.А.** Восстановление напочвенного покрова после лесных низовых пожаров в Южном Прибайкалье. № 2-58.
- Воронов М.П., Усольцев В.А., Часовских В.П., Лазарев И.С., Сенчило Н.В.** Автоматизированная система определения и картирования депонируемого лесами углерода в среде СУБД ADABAS. № 1-22.
- Галенко Э.П.** Температурный режим воздуха старовозрастного ельника средней тайги. № 3-45.
- Гладков Е.Г., Плехов О.Г.** Усыхающие леса: модель регионального лесопользования. № 3-57.
- Грязькин А.В., Беляева Н.В.** Структура фенологических форм молодого поколения ели в условиях Ленинградской области. № 2-84.
- Демидова Н.А., Дуркина Т.М.** Особенности роста и развития тополей в условиях интродукции на Европейском Севере России. № 5-78.
- Добрынин Д.А., Петрик В.В.** Лесные экосистемы Архангельской области, характеризующиеся высокой природоохранной ценностью. № 1-12.
- Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н.** Классификация и особенности сплошных и выборочных форм рубок. № 5-59.
- Евдокименко М.Д.** География и причины пожаров в байкальских лесах. № 4-30.
- Егоров А.Б., Бубнов А.А.** Система гербицидов для ухода за посевами хвойных пород в лесных питомниках. № 5-71.
- Жигунов А.В.** Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России. № 2-27.
- Залесов С.В., Залесова Е.С., Зверев А.А., Оплетаев А.С., Терин А.А.** Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС. № 2-66.
- Кириллов С.В., Лебедева Э.П., Яковлев А.С., Краснов В.Г.** Рост лесных культур дуба черешчатого, созданных разными формами желудей. № 4-16.
- Комиссарова М.Г.** Типы северных пойменных дубовых лесов Европейской России. № 3-34.
- Кутявин И.Н.** Возрастная динамика роста сосны в условиях Северного Приуралья. № 5-115.
- Луганский Н.А., Суслев А.В.** Динамика прироста сосны обыкновенной в условиях автотранспортного загрязнения (г. Екатеринбург). № 1-7.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Кичкильдеев А.Г., Нарзиев В.В.** Изменчивость клонового потомства плосовых деревьев сосны кедровой сибирской на плантации юга Средней Сибири. № 2-93.
- Мерзленко М.Д., Захарова М.И.** Итог опыта М.К. Турского по выращиванию культур сосны из разного лесокультурного материала. № 5-54.
- Моисеев Н.А.** Уроки двухвековой истории лесопользования и учет их при определении ориентиров на будущее. № 2-11.
- Мочалов Б.А., Бобушкина С.В.** Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере. № 5-65.

- Новикова Т.Н.** Изменчивость показателей развития кроны у потомств сибирских климатипов сосны обыкновенной. № 4-22.
- Овсянникова Н.В., Феклистов П.А., Волкова Н.В., Мелехов В.И., Тараканов А.М., Мерзленко М.Д.** Температура древесины ели обыкновенной. № 1-38.
- Осипов А.Ф.** Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги. № 1-43.
- Осипов А.Ф., Кузин С.Н.** Температурный режим почвы сосняка чернично-сфагнового средней тайги. № 3-26.
- Петрова И.В., Санников С. Н., Черепанова О.Е., Санникова Н.С.** Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) на Русской равнине. № 6-29.
- Писанов В.С., Мухин А.К.** Динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния Рыбинского водохранилища. № 1-16.
- Раевский Б.В.** Особенности вегетативного роста клонов сосны обыкновенной в Карелии. № 4-7.
- Раевский Б.В.** Современное состояние и перспективы развития единого генетико-селекционного комплекса Карелии. № 5-88.
- Сиволапов А.И., Чернодубов А.И., Сиволапов В.А.** Опытные культуры тополя на вырубках учебно-опытного лесхоза ВГЛТА. № 1-33.
- Смирнов С.И., Юркова Л.А., Кучук В.А.** К вопросу дифференциации территорий для целей управления биоресурсами лесных и других экосистем. № 1-29.
- Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Кривенко Т.И.** Ускоренное выращивание культур ели в среднетаежной подзоне Карелии. № 5-96.
- Стороженко В.Г., Коткова В.М.** Состояние коренных ельников и дереворазрушающие грибы (*Basidiomycota*) заповедника «Кологривский лес» (Костромская область). № 3-17.
- Сухарева Т.А.** Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения. № 6-19.
- Третьяков С.В., Горбунов А.А., Феклистов П.А.** Ход роста смешанных модальных среднетаежных насаждений с преобладанием осины в Архангельской области. № 5-47.
- Усольцев В.А., Хабибуллина Н.В., Терехов Г.Г.** Структура и география распределения фитомассы кедровых сосен в Азии. № 5-32.
- Фетисова А. А., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Гуталь М.** Оценка естественного возобновления хвойных пород на сплошных вырубках в условиях Рошинского лесничества. № 6-9.
- Хинчук Д.Г., Хинчук К.Е.** Обоснование параметров лесной сеялки, оснащенной сферическим сошником, при посеве ели в условиях дренированных вырубков. № 5-124.
- Царев А.П., Лаур Н.В.** Перспективные направления селекции и репродукции лесных древесных растений. № 2-36.
- Шербакова А.И., Коптина А.В., Канарский А.В.** Биологически активные вещества лишайников. № 3-7.

### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Абраменко С.А.** Обоснование выбора типа подъемника как компонента системы сервиса лесных машин в полевых условиях лесозаготовок. № 1-78.
- Александров В.А.** Еще раз о хлыстовой технологии. № 2-108.
- Дербин В.М., Дербин М.В.** Концептуальная модель сертификации лесопользования. № 5-150.
- Дорохов С.П.** Решение уравнения Эйлера в одной задаче быстрогодействия двухзвенного манипулятора лесной машины. № 1-63.
- Жабин В.И., Мельничкин М.А., Герасимов О.В.** Эмпирическая оценка прочностных характеристик нефтегазовых покрытий автодорог. № 3-79.
- Занкин А.Н.** Типы и назначение запасов древесины в производственном процессе лесозаготовок. № 3-71.
- Иващенко В.Н.** Структура ресурсов, затрачиваемых на выполнение лесохозяйственных технологических процессов. № 5-156.
- Кочнев А.М., Юшков А.Н.** Методология определения тягового КПД колесного трелевочного трактора. № 2-115.
- Кочнев А.М., Юшков А.Н.** Методология выбора трелевочных волоков лесосеки. № 3-65.
- Минаев А.Н., Никифорова А.И., Пельмский А.А., Киселев Д.С., Андронов В.А., Язов В.Н.** Математическая модель процесса образования колеи под воздействием колесных лесных машин. № 5-142.
- Мяснищев Д.Г., Вашуткин А.С.** Организация и планирование экспериментального исследования подвода сжатого воздуха между тормозными колодками и тормозным барабаном в процессе торможения. № 1-70.
- Мяснищев Д.Г., Вашуткин А.С.** Результаты экспериментального исследования процесса подвода сжатого воздуха между фрикционными поверхностями тормозного механизма. № 4-40.
- Оруджова О.Н.** Динамика развития сети лесовозных автомобильных дорог. № 1-52.

- Оруджова О.Н.** Влияние гибких геотекстильных прослоек на прочность дорожной конструкции. № 4-54.
- Памфилов Е.А., Пиллюшина Г.А.** Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса. № 5-129.
- Памфилов Е.А., Пыриков П.Г., Пиллюшина Г.А., Тяпин С.В.** Повышение герметичности неподвижных разъемных соединений гидросистем машин и оборудования лесного комплекса. № 1-56.
- Попов А.Л.** Результаты исследования форм призм выпирания вертикально нагруженных лесосплавных грунтовых анкеров. № 6-50.
- Самсонов С.В., Барабанов В.А.** Обоснование технических параметров плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов и результаты исследования их гидродинамических характеристик. № 6-57.
- Шиловский В.Н., Кяльвийянен В.А.** Оценка эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин. № 4-47.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- Агеев С.П.** Многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пилопродукции. № 1-122.
- Билей П.В., Соколовский И.А.** Направления научных исследований в области лесоведения, тепловой обработки и сушки древесины, проводимых в НЛТУ Украины. № 2-124.
- Галашев А.Н., Хвинозов М.А.** Расчет времени охлаждения круглых пил в период холостого хода. № 1-82.
- Григорьев, И.В., Куницкая О.А., Григорьев Г.В., Есин Г.Ю.** Исследование кинетики центробежной пропитки древесины. № 2-156.
- Ершов С.В.** Определение границ размерных диапазонов распиливаемого сырья при эффективной эксплуатации лесопильного оборудования. № 4-72.
- Иванов С.В., Шарапов Е.С.** Резание древесины: обзор, анализ и формулировка понятия. № 6-86.
- Калитеевский Р.Е., Артеменков А.М.** Структурно-динамический анализ профессионального поля лесопиления. № 1-88.
- Корельская М.А., Копейкин А.М.** О корректности определения размерных характеристик пиловочных бревен. № 1-102.
- Малыгин В.И., Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Мелехов В.И.** Эволюция топологии сборных дереворежущих фрез. № 6-73.
- Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Малыгин В.И.** Влияние давления прессования на коэффициент бокового давления древесных гранул. № 3-97.
- Пономарев О.С., Гиндулин И.К., Юрьев Ю.Л.** Варианты производства древесноугольных брикетов. № 1-107.
- Прокофьев Г.Ф.** Интенсификация пиления древесины на лесопильных станках. № 2-147.
- Рощина С.И., Сергеев М.С., Луккина А.В.** Армированные деревянные конструкции. № 4-80.
- Рощина С.И., Шохин П.Б., Сергеев М.С.** Исследование деревокомпозитных конструкций с применением углеродных нанотрубок. № 3-103.
- Рыкунин С.Н., Кравцов Е.В.** Оптимизационная модель процесса поперечного раскроя пиломатериалов на заготовке. № 2-130.
- Рябчук В.П., Юскевич Т.В., Гриб В.М.** Физические свойства древесины видов рода сосна. № 5-160.
- Серов Е.Н., Лабудин Б.В.** Клееные деревянные конструкции: состояние и проблемы развития. № 2-137.
- Торопов А.С., Кузнецов Е.Ю.** Теоретические исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих. № 3-86.
- Турков А.В., Марфин К.В.** Исследование прогибов и частот собственных колебаний составных круглых трансформных пластин. № 4-66.
- Фомин А.А.** Методология построения процесса механической обработки периферийных сегментов. № 5-170.
- Хвинозов М.А., Галашев А.Н.** Расчет температуры нагрева поверхности пильного диска при осуществлении пирометрического контроля. № 4-60.
- Черемных Н.Н.** Расчет эффективности акустической защиты лесопильных цехов. № 1-112.
- Чубинский А.Н., Варанкина Г.С.** Формирование низкоокисичных древесностружечных плит с использованием модифицированных клеев. № 6-67.
- Шмидт А.Б., Павленко М.Н.** Некоторые особенности проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах с оптимизацией узловых соединений. № 3-108.

#### ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Боголицы К.Г., Сурсо М.В., Гусакова М.А., Зубов И.Н.** Динамика сезонных и возрастных изменений параметра активности пероксидазы в хвое можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.). № 6-91.

- Бровко О.С., Казаков Я.В., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Тормосина Д.А., Боголицын К.Г.** Влияние состава композиции и молекулярных масс лигносульфоната и хитозана на деформационно-прочностные свойства полимерных пленок на их основе. № 6-120.
- Вихарев С.Н.** Контактное взаимодействие ножей гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом. № 3-133.
- Вихарев С.Н.** Осевые силы, возникающие при размоле в дисковой мельнице. № 6-107.
- Вураско А.В., Дрикер Б.Н., Мергин Э.В., Минякова А.Р.** Применение озона при окислительно-органо-растворительной делигнификации недревесного растительного сырья. № 1-131.
- Дмитренков А.И., Филимонова О.Н., Никулин С.С., Вострикова Г.Ю.** Модификация нефтеполимерной смолы из фракции  $C_9$  отходами бутадиев-стирольного каучука и ее применение для защитной обработки ДВП. № 4-97.
- Зырянов М.А., Чистова Н.Г.** Исследование влияния древесноволокнистого полуфабриката на структурообразование готовой плиты. № 6-115.
- Казаков Я.В.** Количественная оценка неоднородности деформирования бумаги при одноосном растяжении с постоянной скоростью. № 2-180.
- Казаков Я.В., Воробьева Т.В., Хромцова Р.Г.** Формирование характеристик вязкоупругости целлюлозно-бумажных материалов в процессе сушки. № 5-184.
- Карманов А.П.** Исследование лигнина свилеватой древесины березы. № 2-172.
- Карманов А.П., Кочева Л.С., Беляев В.Ю., Бровко О.С., Оводов Ю.С.** Лигнин ксилемы пихты *Abies sibirica*. Исследование структуры макромолекул методами молекулярной гидродинамики. № 1-137.
- Карманов А.П., Кочева Л.С., Беляев В.Ю., Бровко О.С., Оводов Ю.С.** Жизненная форма растений и особенности строения лигинов, выделенных из вторичной ксилемы *Betula nana* и *Betula verrucosa*. № 4-86.
- Комиссаренков А.А., Луканина Т.Л.** Изучение процесса модифицирования каолина ионами алюминия. № 3-114.
- Коптелова Е.Н., Кузнецова Л.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И.** Интенсификация процесса выделения бетулина из бересты с использованием СВЧ-поля. № 5-193.
- Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И.** Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты. № 4-119.
- Коротаев Г.Е., Севастьянова Ю.В., Фетюкова Н.Н.** Исследование структурно-размерных и фундаментальных свойств сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели. № 1-146.
- Мирошниченко В.В., Осмоловская Н.А., Паршикова В.Н., Степень Р.А.** Сравнение способов отгонки хвойных эфирных масел методом СВЧ технологии и гидродистиляции. № 3-129.
- Новожилов Е.В., Чухчин Д.Г., Смирнов Е.В., Варакин Е.А., Тышкунова И.В.** Локализация и состояние компонентов крахмального связующего в гофрокартоне. № 4-111.
- Перепелкина А.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р.** Модификация бумаги с целью повышения эксплуатационных свойств. № 6-127.
- Петренко Е.В., Паршикова В.Н., Степень Р.А.** Эффективность совместной переработки древесной зелени пихты и ели. № 6-100.
- Покрышкин С.А., Боголицын К.Г., Хабаров Ю.Г.** Окисление лигнина пероксидом водорода в среде вода-ДМСО в присутствии пероксидазы хрена. № 5-177.
- Сиваков В.П., Партин И.А.** Критерии подобия модели деформации суспензии в питателе высокого давления. № 4-106.
- Смолин А.С.** О развитии технологии бумаги и картона. № 2-163.
- Хакимов Р.Х., Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н.** Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композиции бумаги и картона. № 3-121.

#### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Сушко О.П., Пластинин А.В., Шилковская Н.А.** К вопросу прогнозирования цен на мировом рынке на продукцию целлюлозно-бумажной промышленности. № 6-135.

#### КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- Билей П.В., Билей П.П., Комбаров А.М.** Исследования физических свойств древесины явора. № 5-218.
- Дербина М.А.** Применение биогумуса при выращивании посадочного материала в теплице. № 3-139.
- Дьякова Е.В., Гурьев А.В.** Pap-Fog 2012 – международная инновационная площадка индустрии ЦБП. № 1-159.
- Кротова Л.Л.** О развитии технологии сушки пиломатериалов в Сибирском регионе. № 2-187.