

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный журнал**

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

3/333

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. Мясичев**; 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» № 3/333

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 13.03.2013. Подписан в печать 23.04.2013. Заказ № 1346  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,175.  
Уч.-изд. л. 9,398. 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.

Издательско-полиграфический центр им. В.Н. Булатова  
ФГАОУ ВПО САФУ  
163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2013



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>А.И. Шербакова, А.В. Коптина, А.В. Канарский.</i> Биологически активные вещества лишайников.....	7
<i>В.Г. Стороженко, В.М. Коткова.</i> Состояние коренных ельников и дереворазрушающие грибы ( <i>Basidiomycota</i> ) заповедника «Кологривский лес» (Костромская область).....	17
<i>А.Ф. Осипов, С.Н. Кузин.</i> Температурный режим почвы сосняка чернично-сфагнового средней тайги.....	26
<i>М.Г. Комиссарова.</i> Типы северных пойменных дубовых лесов Европейской России.....	34
<i>Э.П. Галенко.</i> Температурный режим воздуха старовозрастного ельника средней тайги.....	45
<i>Е.Г. Гладков, О.Г. Плехов.</i> Усыхающие леса: модель регионального лесоправления.....	57

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>А.М. Кочнев, А.Н. Юшков.</i> Методология выбора трелевочных волоков лесосеки...	65
<i>А.Н. Заикин.</i> Типы и назначение запасов древесины в производственном процессе лесозаготовок.....	71
<i>В.И. Жабин, М.А. Мельницкий, О.В. Герасимов.</i> Эмпирическая оценка прочностных характеристик нефтегравийных покрытий автодорог.....	79

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.С. Торопов, Е.Ю. Кузнецов.</i> Теоретические исследования точности пиления древесины круглыми пилами с применением электромагнитных направляющих.....	86
<i>О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, В.И. Малыгин.</i> Влияние давления пресования на коэффициент бокового давления древесных гранул.....	97
<i>С.И. Рощина, П.Б. Шохин, М.С. Сергеев.</i> Исследование деревокомпозитных конструкций с применением углеродных нанотрубок.....	103
<i>А.Б. Шмидт, М.Н. Павленко.</i> Некоторые особенности проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах с оптимизацией узловых соединений.....	108

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.А. Комиссаренков, Т.Л. Луканина.</i> Изучение процесса модифицирования каолина ионами алюминия.....	114
<i>Р.Х. Хакимов, Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун.</i> Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композициях бумаги и картона.....	121
<i>В.В. Мирошниченко, Н.А. Осмоловская, В.Н. Паршикова, Р.А. Степень.</i> Сравнение способов отгонки хвойных эфирных масел методом СВЧ технологии и гидродистилляции.....	129

*С.Н. Вихарев.* Контактное взаимодействие ножей гарнитуры мельниц с волокнистым полуфабрикатом..... 133

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

*М.А. Дербина.* Применение биогумуса при выращивании посадочного материала в теплице..... 139

*Е.Н. Серов, А.Е. Серов.* Предложения по усилению балок нижнего четверика Преображенской церкви на о. Кизи..... 143

*В.П. Сиваков, И.А. Партин.* Демпфирующие опоры трубопроводов варочных котлов..... 152

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

*С.Н. Тарханов.* Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях..... 157

*В.В. Фуряев.* Добротный вклад в лесное ландшафтоведение..... 160

---

---



CONTENTS

FORESTRY

<i>A.I. Shcherbakova, A.V. Koptina, A.V. Kanarskiy.</i> Biologically Active Substances of Lichens.....	7
<i>V.G. Storozhenko, V.M. Kotkova.</i> The Condition of Indigenous Spruce Forests and Wood-Destroying Fungi of the “Kologriv Forest” Reserve (Kostroma Region)...	17
<i>A.F. Osipov, S.N. Kuzin.</i> Thermal Regime of the Soil in Blueberry-Sphagnum Pine Forest in Middle Taiga.....	26
<i>M.G. Komissarova.</i> Types of Northern Floodplain Oak Forests of the European Part of Russia.....	34
<i>E.P. Galenko.</i> Thermal Regime of Old Spruce Forests in Middle Taiga.....	45
<i>E.G. Gladkov, O.G. Plekhov.</i> Drying Forests: a Model of Regional Forest Management...	56

WOODEXPLOITATION

<i>A.M. Kochnev, A. N. Yushkov.</i> The Selection Methodology of Cutting Area Skidding Trails.....	65
<i>A.N. Zaikin.</i> The Types and Purpose of Timber Stocks in the Process of Timber Production.....	71
<i>V.I. Zhabin, M.A. Melnitsky, O.V. Gerasimov.</i> Empirical Evaluation of the Strength Characteristics of Oiled Gravel Road Surface.....	79

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.S. Toropov, E.Yu. Kuznetsov.</i> Theoretical Research of Accuracy of Woodsawing by Circular Saws using Electromagnetic Guides.....	86
<i>O.D. Myuller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, V.I. Malygin.</i> The Effect of Compacting Pressure on the Side Pressure Coefficient of Wood Pellets.....	97
<i>S.I. Roshchina, P.B. Shokhin, M.S. Sergeev.</i> Study of Composite Wood Structures Using Carbon Nanotubes.....	103
<i>A.B. Shmidt, M.N. Pavlenko.</i> Some Features of Designing Wood Trusses with Toothed Metal Plates with Optimization of Joint Connections.....	108

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.A. Komissarenkov, T.L. Lukanina.</i> Study of the Modification of Kaolin by Aluminum Ions .....	114
<i>R.Kh. Khakimov, F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun.</i> Preparing of Wastepaper by Aerodynamic Disintegrator for Using in Paper and Board Composition.....	121
<i>V.V. Miroshnichenko, N.A. Osmolovskaya, V.N. Parshikova, R.A. Stepen.</i> Comparison of Pine oil Distillation Methods of Microwave Technology and Hydrodistillation	129
<i>S.N. Vikharev.</i> Contact Interaction of Mill Blades with Wood Pulp.....	133

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

<i>M.A. Derbina.</i> Use of Vermicompost for Growing Stock in a Greenhouse .....	139
--	-----

<i>E.N. Serov, A.E. Serov.</i> Suggestions for Strengthening the Beams of the Lower Quadrangle of the Transfiguration Church on the Kizhi Island.....	143
<i>V.P. Sivakov, I.A. Partin.</i> Damping Pipeline Supports of Cooking Boilers.....	152

*GRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

<i>S.N. Tarkhanov.</i> Ecological and Physiological Characteristics of Conifers on Drained Land.....	157
<i>V.V. Furyaev.</i> A Major Contribution to the Forest Landscape Science.....	160

---

---



УДК 582.29

*А.И. Шербакова, А.В. Коптина, А.В. Канарский*

Поволжский государственный технологический университет

Щербакова Анастасия Игоревна окончила в 2010 г. Марийский государственный технический университет, магистрант кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета. Имеет 1 научную работу в области изучения вторичного метаболизма растений и их биологической активности.

E-mail: serbsik@gmail.com



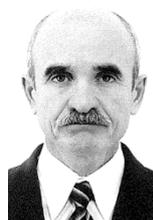
Коптина Анна Владимировна окончила в 2005 г. Казанский государственный технологический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 30 научных работ и 1 патент РФ в области технологии натуральных лекарственных веществ, изучения их биологической активности и механизма действия, исследования вторичного метаболизма растений, микроорганизмов и человека.

E-mail: anna\_koptina@hotmail.com



Канарский Альберт Владимирович родился в 1946 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 200 научных работ в области химической и биохимической технологии, получения и переработки целлюлозы, бумаги и картона, крахмала, адсорбентов и биологически активных веществ.

E-mail: alb46@mail.ru



## **БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ЛИШАЙНИКОВ\***

Рассмотрены биологические особенности лишайников. Проведен анализ их биологического состава. Установлено, что лишайниковые вещества обладают широким спектром лекарственных свойств, включая противомикробные, противомикотические, противовирусные, противовоспалительные, обезболивающие, жаропонижающие,

---

\*Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (государственные контракты № 16.552.11.7050 от 29 июля 2011 г. и № 16.552.11.7089 от 12 июля 2012 г.) с использованием оборудования ЦКП ЭБЭЭ ФГБОУ ВПО МарГТУ.

©Шербакова А.И., Коптина А.В., Канарский А.В., 2013

антипролиферативные и цитотоксические. Особый интерес представляет усниновая кислота, обладающая противораковой активностью.

*Ключевые слова:* лишайники, биоразнообразии, биологически активные вещества, биологическая активность.

**Биологические особенности лишайников.** Лишайники – это своеобразная группа живых организмов, тело (слоевище) которых образовано двумя организмами – микобионтом и фикобионтом, живущими в симбиозе. Микобионты лишайников представлены грибами, принадлежащими к классам аскомицетов и базидиомицетов. В качестве фитобионтов выступают зеленые и желто-зеленые водоросли, реже – цианобактерии [5]. Дуалистическую природу лишайников открыл швейцарский ботаник Симон Швенденер в 1869 г. [3]. Симбиотические (мутуалистические) взаимоотношения между компонентами лишайников сводятся к тому, что фикобионт снабжает гриб созданными им в процессе фотосинтеза органическими веществами, а получает от него воду с растворенными минеральными солями. Кроме того, гриб защищает фикобионт от высыхания [3]. Многие лишайниковые грибы и водоросли не живут в свободном состоянии [5]. Например, водоросль *Trebouxia* обнаруживается только в симбиозе с грибом. При этом лишайники отличаются от других групп организмов способами размножения, медленным ростом, отношением к экологическим условиям и др. [3], их метаболизм отличается от метаболизма его нелихенизированных компонентов [3, 5].

Благодаря своей способности расти на самых разнообразных субстратах лишайники широко распространены на земном шаре. Они встречаются почти во всех наземных экосистемах (почва, стволы деревьев, валуны и скалы). На сегодняшний день список лишайников насчитывает около 20 тыс. видов [3, 17], на территории России известно примерно 100 видов лишайников, не отмеченных в других странах [17].

В силу размеров территории Российской Федерации изучение лишайнофлоры весьма затруднено и чаще носит региональный характер. К настоящему времени известно 3435 видов лишайников [17], их распространение по территории неравномерно. В центре Европейской равнины лишайники представлены 834 видами [17]. Например, биоразнообразие лишайников Кемеровской области определяется 1311 видами, Салаира – 671 видом, Красноярского края (Западный и Восточный Саяны) – 1318 видами, Республики Алтай – 1572 видами, Республики Хакасия – 1272 видами, Республики Тыва – 1222 видами [14], Республики Марий Эл – 394 видами (265 из них – на территориях НП «Марий Чодра» и заповедника «Большая Кокшага», 4 – занесены в Красную книгу РФ) [1]. В основном лишайники Марий Эл представлены родами *Cladonia*, *Lecanora*, *Arthonia*, *Chaenotheca*, *Usnea*, *Bacidia*, *Peltigera*, *Caloplaca*, *Pertusaria*, *Bryoria*, *Melanelia* [17].

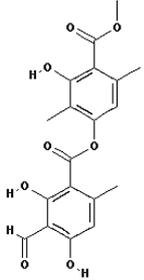
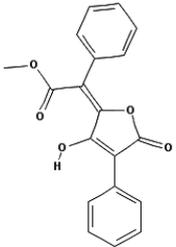
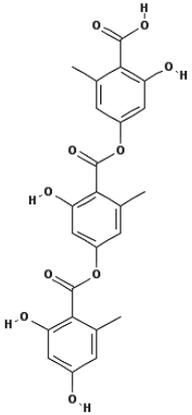
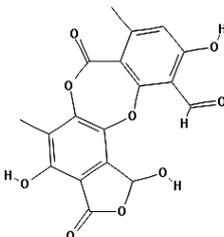
Разнообразие лишайников велико, но, к сожалению, при рубке они являются отходами вместе с корой и ветвями. Однако лишайники с давних пор используются как лечебное средство, что обусловлено их биохимическим составом.

**Биохимический состав лишайников.** Основу оболочки гиф лишайников составляют углеводы, образующиеся при освобождении фотосинтетического углерода. В грибах данные углеводы превращаются в грибные полиолы – манит, арабит [5]. В гифах лишайников также обнаружены хитин (характерен для большинства грибов) и гомополисахарид лихенин, или лишайниковый крахмал [3, 9], а из азотсодержащих веществ – аминокислоты. Фикобионт лишайников продуцирует витамины [2, 3].

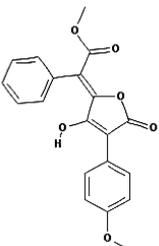
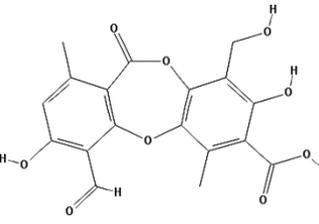
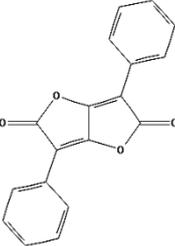
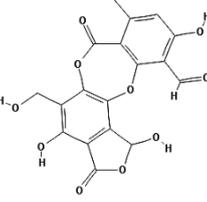
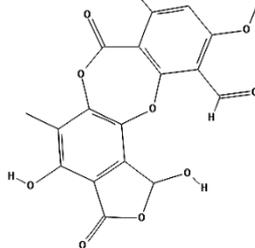
Лишайники обладают уникальной способностью извлекать из окружающей среды и накапливать в своем слоевище различные химические элементы, что влияет на их биохимический состав [3, 18]. Определение многих видов лишайников осуществляется с помощью качественных химических реакций, но, зная адсорбционные свойства лишайников, нельзя говорить об их принадлежности к разным видам, а не к экобиоморфам, меняющимся по составу в зависимости от условий местообитания. Так, группа ученых Тверского государственного университета, изучая динамику накопления экотоксиканта (окись азота) в слоевище лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., пришла к выводу, что экотоксикант не только накапливается в слоевище лишайника, но и активно реагирует с его органическими компонентами (например, с белковыми молекулами) [8]. Кроме того, лишайники способны накапливать небольшое, но постоянное количество азота, не менее 70 % которого участвует в построение белковых молекул [8].

Вторичные лишайниковые вещества, на долю которых приходится до 5 % сухой массы, представляют собой безазотистые соединения фенольного характера, близкие по своей природе к дубильным веществам растений, но имеющие более простое строение. По одним данным [3], общее их количество достигает 270, по другим [19] – более 700, из которых около 80 встречаются только в лишайниках [3]. Впервые вторичные лишайниковые вещества обнаружил Пфафф в 1826 г. [9]. Но наибольшее изучение метаболитов в лишайниках началось после открытия пенициллина. Одна из проблем лихенологии – это неспособность микобионтов, изолированных из слоевища лишайников, синтезировать в культуре те химические соединения, которые они синтезируют с водорослью. Факты доказывают, что биосинтез лишайниковых веществ является результатом совместных усилий лишайниковых партнеров [14]. Некоторые биологически активные вещества лишайников представлены в таблице.

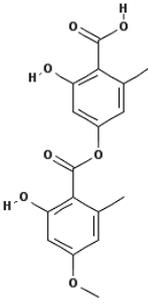
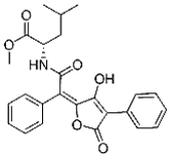
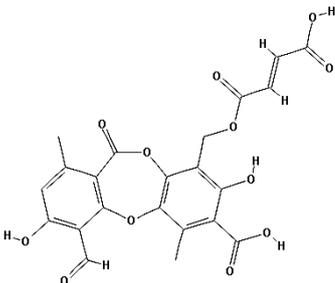
**Биологическая активность лишайниковых веществ.** С давних пор экстракты лишайников используются как лечебное средство, на что указывал еще Теофраст [3]. Лишайниковые вещества обладают широким спектром действия, включая противомикробное, противомикотическое, противовирусное, противовоспалительное, обезболивающее, жаропонижающее, антипролиферативное и цитотоксическое [23]. Во время Великой Отечественной войны в СССР была разработана методика получения из лишайников глюкозы [13]. Половина углеводов, содержащихся в слоевищах лишайников, представлена гомополисахаридом лихенином, а также изолихенином, обладающими как иммуномодулирующими, противоопухолевыми, так и гепатопротекторными свойствами [12].

Биологически активное вещество	Вид лишайника
<p>Атранорин (C<sub>19</sub>H<sub>18</sub>O<sub>8</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Anzia</i>, <i>Cladonia</i>, <i>Anaptychia ciliaris</i> A. <i>Speciosa</i>, <i>Asahinea chrysantha</i>, <i>Cetrelia cetrarioides</i>, <i>Evernia prunastri</i>, <i>Haematomma coccineum</i>, <i>Hypogymnia encasta</i>, <i>Parmelia acetabulum</i>,</p>
<p>Вульпиновая кислота (C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>O<sub>5</sub>)</p> 	<p><i>Cetraria juniperina</i>, <i>C. pinastri</i>, <i>Letharia vulpine</i></p>
<p>Гирофоровая кислота (C<sub>24</sub>H<sub>20</sub>O<sub>10</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Umbilicaria</i>, <i>Cetraria delisei</i>, <i>Dactylina arctica</i></p>
<p>Норстиктовая кислота (C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>O<sub>9</sub>)</p> 	<p><i>Cladonia subcariosa</i>, <i>Lobaria pulmonaria</i>, <i>Menegazzia terebrata</i>, <i>Parmelia acetabulum</i></p>

Продолжение таблицы

Биологически активное вещество	Вид лишайника
<p>Пинастровая кислота (C<sub>20</sub>H<sub>16</sub>O<sub>6</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Pseudocyphellaria</i>, <i>Rhizocarpon</i>, <i>Cetraria commixa</i>, <i>Cetraria cucullata</i>, <i>C. delisei</i>, <i>C. islandica</i>, <i>C. juniperina</i>, <i>C. oakesiana</i>, <i>C. pinastri</i>, <i>Letharia vulpine</i></p>
<p>Протоцетраровая кислота (C<sub>18</sub>H<sub>14</sub>O<sub>9</sub>)</p> 	<p><i>Cetraria islandica</i>, <i>Hypogymnia encausta</i>, <i>Parmelia caperata</i>, <i>Parmelia olivacea</i>, <i>Parmelia sulcata</i></p>
<p>Пульвиновый дилактон (C<sub>18</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Candelaria</i>, <i>Candelariella</i>, <i>Pseudocyphellaria</i>, <i>Rhizocarpon</i>, <i>Cetraria commixa</i>, <i>C. cucullata</i>, <i>C. delisei</i>, <i>C. islandica</i>, <i>C. juniperina</i>, <i>C. oakesiana</i>, <i>C. pinastri</i>, <i>Letharia vulpine</i></p>
<p>Салациновая кислота (C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>O<sub>10</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Parmelia</i>, <i>Ramalina farinacea</i>, <i>Usnea comosa</i></p>
<p>Стиктовая кислота (C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>O<sub>9</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Parmelia</i>, <i>Lecidea albocoerulescens</i>, <i>Lobaria pulmonaria</i>, <i>Menegazzia terebrata</i>, <i>Rizocarpon grande</i></p>

Окончание таблицы

Биологически активное вещество	Вид лишайника
<p>Эверновая кислота (C<sub>17</sub>H<sub>16</sub>O<sub>7</sub>)</p> 	<p><i>Evernia prunastri</i>, <i>Ramalina polinaria</i></p>
<p>Эпанорин (C<sub>25</sub>H<sub>25</sub>NO<sub>6</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Candelaria</i>, <i>Candelariella</i>, <i>Pseudocyphellaria</i>, <i>Rhizocarpon</i>, <i>C. commixa</i>, <i>C. cucullata</i>, <i>C. delisei</i>, <i>C. islandica</i>, <i>C. juniperina</i>, <i>C. oakesiana</i>, <i>C. pinastri</i>, <i>Letharia vulpine</i></p>
<p>Фумарпротоцетраровая кислота (C<sub>22</sub>H<sub>16</sub>O<sub>12</sub>)</p> 	<p>Большинство видов рода <i>Cladonia</i>, <i>Cetraria islandica</i>, <i>Hypogymnia encausta</i>, <i>Parmelia conspersa</i>, <i>Parmelia olivace</i></p>

Водно-спиртовые экстракты лишайников оказывают антибактериальное действие, в том числе и на *Mycobacterium tuberculosis*, вызывающих туберкулез у человека и некоторых животных [10, 12, 14].

Многие вторичные вещества лишайников (например, канарион, тамноловая кислота, скваматиновая кислота, вермикуларин, норстиковая кислота, баеомицезическая кислота, леканориновая кислота, барбастиновая кислота, усниновая кислота) обладают сильными гиполипидемическими и антиоксидантными свойствами, так как, благодаря своей фенольной природе, способны связывать токсичные свободные радикалы [22, 23].

Кершенгольц с соавторами рассматривал влияние биологически активных веществ (БАВ) лишайников на состояние крыс при их алкоголизации [6]. Экспериментально было показано, что комплекс лишайниковых БАВ при введении в 40 %-ную водно-спиртовую смесь в 2 раза снижает ее тимозергическое

действие, почти полностью снимает постинтоксикационный эффект и в 6 раз уменьшает скорость формирования алкогольной зависимости при длительной алкоголизации животных [6].

Особый интерес среди лишайниковых веществ представляет усниновая кислота, которая, по одним данным [15], найдена в талломах 16 видов лишайников, 6 из которых растут в лесном растительном поясе (*Cladonia deformis*, *Parmelia vagans*, *Thamnochrysa vermicularis*, *Usnea dasypoda*, *Usnea florida*, *Usnea hirta*), по другим – примерно у 70 видов лишайников [14].

Усниновая кислота – это кислородсодержащее гетероциклическое соединение, по структуре относящееся к дибензофуранам. По внешнему виду – желтые моноклинные кристаллы; молекулярная масса – 344,33 а.е.м.; температура плавления – 194 °С; не растворима в воде, растворима в хлороформе, трудно растворима в этаноле [16]. Усниновая кислота впервые была получена в 1843 г. из лишайников *Ramalina fraxinea* и *Usnea borbata* [4].

Усниновая кислота обладает широким спектром действия:

противомикробным (эффективна против *Candida orthopsilosis* и *C. Parapsilosis* [29], метициллин-резистентного золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* [28], чувствительных и резистентных штаммов *Mycobacterium tuberculosis*, не вызывающих туберкулез штаммов микобактерий [30]);

синергист инсектицидов [11];

противораковым (в различной степени оказывает ингибирующее действие на A2780, HeLa, MCF-7, H1299, SK-BR-3, HT-29, HCT-116 p53(+/+), HCT-116 p53(-/-), HL-60 и Jurkat раковые клетки человека в условиях *in vitro* [21, 24, 31, 32];

противооксидантным и гепатопротекторным (используется в составе БАД для снижения веса) [25]);

антималарийным.

Недавние исследования группы бразильских ученых показали, что усниновая кислота является ингибитором гидроксифенилпируватдиоксигеназы в биосинтезе витамина Е в плазмодиях *Plasmodium falciparum*, вызывающих малярию [27]. Это открытие является крайне перспективным, так как малярия ежегодно вызывает около 350...500 млн инфицированных и около 1,3...3,0 млн смертей у людей [20]. Согласно ВОЗ, это число ежегодно возрастает на 16 % [7]. Самым распространенным медикаментом для лечения малярии сегодня, как и раньше, является хинин из коры хинного дерева, которая веками использовалась индейцами как жаропонижающее [26]. Наилучшим лечением считается основанная на артемизинине комбинированная терапия (артемизинин выделен из растения *Artemisia annua* – полынь однолетняя) [7]. Однако растущая устойчивость к противомаларийным препаратам распространяется

быстрыми темпами, что подрывает усилия по борьбе с малярией [7] и делает перспективным поиск новых лекарственных средств.

В связи с тем что лишайниковые вещества обладают широким спектром лекарственных свойств, включая противомикробные, противомикотические, противовирусные, противовоспалительные, обезболивающие, жаропонижающие, антипролиферативные и цитотоксические, их терапевтический потенциал еще недостаточно изучен, что сдерживает широкое производство на их основе фармацевтических препаратов и применение в медицине [23].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Г.А., Урбанвичюс Г.П. О разнообразии лишайников Республики Марий Эл // Флора лишайников России: состояние и перспективы исследований: тр. междунар. совещания, посвященного 120-летию со дня рождения В.П. Савича. 2006. С. 41–45.
2. Вершинина С.Э., Вершинин К.Е., Кравченко О.Ю. Анализ состава растительного сырья *Cetraria laevigata* Rassad. 1945 и *C. islandica* (L.) Ach/1803 (*Parmeliaceae*, lichens) // Вест. ИГСХА. 2010. № 41. С. 13–21.
3. Водоросли. Лишайники. Т. 3 / Под ред. М.М. Голлербаха М.: Просвещение, 2000. 487 с.
4. Гетероциклические соединения. Т. 2 / Под ред. Р. Эльдерфилда. М.: Иностранная литература, 1954. С. 42–50.
5. Зенова Г.М. Лишайники // Соросовский образоват. журн. 1999. С. 30–34.
6. Кершенгольц Е.Б., Шеин А.А., Кершенгольц Б.М. Комплекс биологически активных веществ, выделенных из лишайников методом CO<sub>2</sub> флюидной сверхкритической экстракции, и оценка его влияния на состояние крыс при их алкоголизации // Наука и образование. 2005. С. 74–80.
7. Малярия // Информационный бюллетень / ВОЗ. 2011. № 94. Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs094/ru/> (дата обращения: 02.02.2012).
8. Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Характер воздействия азотсодержащих поллютантов на химический состав *Hypogymnia physodes* // Вест. ТГУ. Сер.: Биология и экология. 2010. № 18. С. 129–136.
9. Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Наука, 1974. Вып. 2. 284 с.
10. Пат. РФ № 2203081. Препарат Ислацет для профилактики и лечения туберкулеза и способ его получения / Е.Е. Лесиовская, Е.И. Саканян, Е.И. Сафронова и др. Заявл. 13.12.2001.
11. Пат. РФ № 2328493. Применение усниновой кислоты в качестве синергиста инсектицидов на основе энтомопатогенных микроорганизмов / М.П. Половинка, Н.Ф. Салахутдинов, О.А. Лузина, В.В. Глухов, В.В. Серебряков, И.М. Дубовский, В.В. Мартемьянов, В.Ю. Крюков. Заявл. 09.01.2009.
12. Пат. РФ № 2385159. Способ получения препарата ягель-М, обладающего противотуберкулезным действием / Г.В. Филиппова, М.М. Шашурин, Б.М. Кершенгольц, А.Н. Журавская, О.И. Ломовский, Н.Г. Павлов, А.А. Шеин. Заявл. 05.09.2007.

13. Пчелкин А.В. Популярная лихенология. М.: МГСЮН, 2006. 40 с.
14. Растение-Сфинкс // Наука в Сибири. Еженедельная газета Сиб. отд. РАН. 2006. № 35. С. 7. Режим доступа: <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?13+386+1> (дата обращения: 02.02.2012).
15. Слонов Л.Х., Слонов Т.Л. Вторичные лишайниковые вещества и их содержание в слоевищах // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: материалы XII съезда Русского ботанического общества. Ч. 2. Петрозаводск: Кар НЦ РАН. 2008. С. 238–241
16. Справочник химика. Л.; М.: Химия, 1964. С. 1034–1035.
17. Урбанвичюс Г.П. Особенности разнообразия лишайнофлоры России // Изв. РАН. Серия географическая. 2011. С. 66–78.
18. Элементный состав лишайников *P. cetraria* Ach. из различных регионов России / С.Э. Вершинина [и др.] // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 141–146.
19. Antibacterial properties of four pacific Northwest lichens / M. Crockett [et al.] // 2003. URL:[http://lichens.science.oregonstate.edu/antibiotics/lichen\\_antibiotics.htm#results](http://lichens.science.oregonstate.edu/antibiotics/lichen_antibiotics.htm#results) (дата обращения: 02.02.2012)
20. Campbell N.A., Reece J.B., Mitchel L.G. Biology. 2005. 1175 p.
21. Cellular mechanisms of the anticancer effects of the lichen compound usnic acid / E. Einarsdóttir [et al.] // Planta Med. 2010. P. 969–974.
22. Characterisation of phenols and antioxidant and hypolipidaemic activities of *Lethariella cladonioides* / A.H. Wei [et al.] // J. Sci. Food Agric. 2011.
23. Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities of *Lichen umbilicaria cylindrica* (L.) Delise (*Umbilicariaceae*) / N.T. Manojlovic [et al.] // Evid Based Complement Alternat Med. 2011.
24. Does usnic acid affect microtubules in human cancer cells? / M.A. O'Neill [et al.] // Braz. J. Biol. 2011. P. 659–664.
25. Effects of usnic acid exposure on human hepatoblastoma HepG2 cells in culture / S.C. Sahu [et al.] // J. Appl. Toxicol. 2011.
26. Flückiger F.A. Pharmacographia: a history of the principal drugs of vegetable origin, met with in Great Britain and British India. 1874. 704 p.
27. Intraerythrocytic stages of *Plasmodium falciparum* biosynthesize vitamin E / R.A. Sussmamm [et al.] // FEBS Lett. 2011.
28. Mechanical effects, antimicrobial efficacy and cytotoxicity of usnic acid as a biofilm prophylaxis in PMMA / S. Kim [et al.] // J. Mater Sci Mater Med. 2011.
29. Pires R.H., Lucarini R., Mendes-Giannini M.J. Effect of usnic acid on *C. orthosporosis* and *C. parapsilosis* // Antimicrob Agents Chemother. 2011.
30. Ramos D.F., Almeida da Silva P.E. Antimycobacterial activity of usnic acid against resistant and susceptible strains of *Mycobacterium tuberculosis* and *Non-tuberculous mycobacteria* // Pharm. Biol. 2010. С. 260–263.
31. Usnic acid: a non-genotoxic compound with anti-cancer properties / M. Mayer [et al.] // Anti-Cancer Drugs. 2005. P. 805–809.
32. Variable responses of different human cancer cells to the lichen compounds parietin, atranorin, usnic acid and gyrophoric acid / M. Backorova [et al.] // Toxicol in vitro. 2011. P. 37–44.

Поступила 09.02.12

*A.I. Shcherbakova, A.V. Koptina, A.V. Kanarskiy*  
Volga State University of Technology

**Biologically Active Substances of Lichens**

The article considers biological features of lichens. Lichens are wide-spread in the nature and are able to grow on a variety of substrates. An analysis of the biological composition of lichens has been carried out. Attention is given to the fact that lichen substances have a wide range of medical properties including antimicrobial, antimycotic, antiviral, anti-inflammatory, analgesic, antipyretic, anti-proliferative and cytotoxic. Of particular interest is usnic acid which in addition has anticancer potency.

*Key words:* lichen, biodiversity, biologically active substances, biological activity.

---

УДК 582.28 (470.331)

**В.Г. Стороженко<sup>1</sup>, В.М. Коткова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт лесоведения РАН

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН

Стороженко Владимир Григорьевич родился в 1939 г., окончил в 1968 г. Московский лесотехнический институт, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института лесоведения РАН. Имеет более 140 печатных работ в области лесоведения, биогеоценологии, фитопатологии, микологии, разложения древесины грибами, устойчивости лесных сообществ.

E-mail: lesoved@mail.ru



Коткова Вера Матвеевна окончила в 1987 г. Ленинградский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории систематики и географии грибов Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Имеет 145 печатных работ в области биоразнообразия и экологии афиллофоровых грибов.

E-mail: Vera.Kotkova@mail.ru



## **СОСТОЯНИЕ КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ И ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИЕ ГРИБЫ (*BASIDIOMYCOTA*) ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)\***

Изучены структуры коренных лесов заповедника, оценены параметры состояния древостоев, их пораженность дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса, рассмотрено значение дереворазрушающих грибов в генезисе лесов, определены объемы древесного отпада. Впервые для заповедника приведены сведения о дереворазрушающих грибах.

*Ключевые слова:* структуры коренных лесов, объемы валежа, дереворазрушающие грибы.

Заповедник «Кологривский лес» расположен в восточной части Костромской области. По лесорастительному районированию леса заповедника входят в подзону южной тайги [3]. Территориально леса заповедника разобщены и складываются из нескольких массивов различного происхождения. В состав этих лесов входит участок, включающий 4 квартала (кварталы 85–88 по лесоустройству 1977 г.), общей площадью 918 га, покрытой девственными разновозрастными еловыми лесами. Этот массив является уникальным островком эволюционно сформированного лесного сообщества, на примере которого возможно и необходимо изучать законы коэволюционного формирования ценозов устойчивых лесов. Именно с этой целью сотрудники Института лесоведения РАН совместно со специалистами Костромской ЛОС в 1979 г. начали комплексные исследования по изучению структур девственных лесов Кологрива [2].

\*Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограммы «Динамика лесных экосистем».

©Стороженко В.Г., Коткова В.М., 2013

Коренными зональными формациями на участке являются еловые леса. К наиболее представительным группам типов леса здесь можно отнести ельники кисличные и сложные, занимающие дренированные водораздельные местоположения. Доминирующей породой является ель с участием в составе древостоев пихты (до 20...30 %), березы пушистой и липы. Полнота не превышает 0,8, бонитет не опускается ниже 1-го класса, запасы стволовой древесины достигают 400...450 м<sup>3</sup>/га. В подлеске преобладают рябина, липа, режа малина, жимолость лесная, черемуха. В покрове представлена кислица, голокучник, майник, папоротники, линнея. Незначительные площади участка заняты древостоями влажных пониженных местоположений морошково-сфагновых и сфагновых типов леса. Полнота таких древостоев не выше 0,6, бонитет не выше IV, запасы стволовой древесины составляют 150...170 м<sup>3</sup>/га, в покрове – черника, брусника, морошка, пушица влагалищная.

Цель наших исследований – изучение структуры фитоценозов, комплексов дереворазрушающих грибов, пораженности древостоев, структуры древесного опада, а также естественного возобновления.

#### *Материал и методы исследования*

Работы проводились с 1986 г. по 2010 г. Всего было заложено 8 постоянных и 10 временных пробных площадей (ПП) в различных типах леса, в биогеоценозах различных динамических характеристик на разных участках кварталов.

На ПП размером от 0,3 до 0,6 га осуществлялся комплекс работ, включающий измерение диаметров всех деревьев толщиной более 6 см (измерения проводили на высоте груди), нумерацию деревьев, разбивку на квадраты 10×10 м для дальнейшего картирования расположения деревьев. Определялось состояние деревьев по категориям, изложенным в Санитарных правилах в лесах РФ [4]. Проводилось бурение стволов у шейки корня и на высоте груди возрастным буром Пресслера. По кернам определялся возраст деревьев, присутствие гнилей с уточнением их типа, стадии развития и положения в стволе. Часть кернов помещалась в стерильные пробирки для последующего выращивания чистых культур и определения вида возбудителя, вызвавшего гниль, по M.R. Nobles [9] и J.A. Stalpers [10]. Учитывалось естественное возобновление породы эдификатора и сопутствующих пород. На всей площади участка девственных лесов были изучены виды грибов фитопатогенного комплекса, а также проведен сбор плодовых тел дереворазрушающих грибов кислотрофного комплекса, разлагающих древесный опад. Идентификацию собранных образцов дереворазрушающих грибов осуществляли В.М. Коткова (лаборатория систематики и географии БИН РАН) и частично В.Г. Стороженко (Институт лесоведения РАН).

#### *Результаты и их обсуждение*

В современной трактовке структур лесных экосистем равнозначное значение в их функционировании придается составляющим их консортам,

как автотрофам, так и гетеротрофам, в том числе фитоценозу, накапливающей биомассу, и микоценозу, более чем на 90 % ответственному за ее разложение. В этой связи при изучении лесов любых структур и происхождения, необходимо детально исследовать структуры фитоценозов, определить их динамические характеристики в сукцессионном процессе. Только тогда можно приступать к изучению структуры гетеротрофов, в нашем случае грибов дереворазрушающего комплекса. Прежде всего, необходимо привести в известность характеристики санитарного состояния лесных сообществ. Из 10 заложенных постоянных ПП нами отобраны 3 наиболее показательные для условий заповедника, на которых определены соотношения объемов деревьев в возрастных поколениях древостоев, категории состояния, пораженность древостоев дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса и объемные показатели валежа. Деревья 4-, 5- и 6-й категорий состояния относятся к текущему древесному отпаду и в сумме с деревьями других категорий характеризуют динамику ослабления древостоя, поступления биомассы в структуру валежа.

Древостои всех ПП по возрастным параметрам (табл. 1) относятся к абсолютно-разновозрастным биогеоценозам [1]. По динамическим характеристикам биогеоценозов ПП 5-84 ближе всего стоит к фазе климакса (Кл), так как объемы деревьев в возрастных поколениях почти равны. Биогеоценоз ПП 6-А находится в фазе дигрессии (Дг), так как в первом возрастном поколении (221...260 лет) сосредоточено почти 52 % всего объема древесины древостоя. Биогеоценоз ПП 1-А также близок к фазе климакса, но имеет значительный провал в объемах запаса древесины в предпоследнем поколении. В целом все представленные биогеоценозы находятся в поле флуктуации климакса [7].

Таблица 1

## Соотношение объемов деревьев в возрастных поколениях древостоев ПП

№ ПП	Лесоводственная характеристика (состав, тип леса*, полнота, бонитет)	Фаза динамики	Распределение объемов деревьев, %, по возрастным поколениям, лет						
			< 40	41...80	81...120	121...160	161...200	201...240	241...280
5-84	8Е1Б1Лп+Пх; кисл.-щитов.; 0,8; 1 бон.	Кл	Под-рост	0,1	1,4	27,1	21,3	26,3	23,8
6-А	10Е+Лп,Б,Пх; черн.-кисл.-зел.; 0,8; 1 бон.	Дг	Под-рост	0,8	6,3	16,1	16,0	9,3	51,5
1-А	8Е1Б1Лп+Пх; кисл.-щитов.; 0,8; 1 бон.	Кл	Под-рост	1,1	2,4	20,1	32,5	8,4	35,4

\*Здесь и далее, в табл. 2 и 4, типы леса: кисл.-щитов.-кислично-щитовниковый; черн.-кисл.-зелен. – чернично-кислично-зеленомошный; 1 бон. – первый класс бонитета.

Таблица 2

Средние значения категорий состояния деревьев  
на постоянных ПП

№ ПП	Лесоводственная характеристика (состав, тип леса, полнота, бонитет)	Распределение деревьев, % от общего на пробе, по категориям состояния*						Средняя категория состояния
		1	2	3	4	5	6	
1-А	8Е1Б1Лп+Пх; 0,8; 1 бон. кисл.-щитов.;	41	31	13	3	1	11	2,3
5-84	8Е2Б+Пх; 0,8; 1 бон. черн.-кисл.-зелен.;	53	31	12	0,5	–	3	1,7
6-А	10Е+Пх,Б; 1 бон. кисл.-щитов.; 0,8;	45	38	9	2	1	5	1,9

\*1 – здоровые; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой.

Состояние изучаемых древостоев отражено в табл. 2.

Сравнение данных табл. 2 с динамическими характеристиками древостоев показало, что в наилучшем состоянии находится древостой ПП 5-84, ближе всего стоящий к фазе климакса, в наихудшем – древостой ПП 1-А, накопивший большой объем текущего древесного отпада. Можно ожидать, что в недалеком будущем он приблизится к фазе климакса.

Дереворазрушающие грибы биотрофного комплекса, поражая живые деревья древостоя биогеоценоза, вызывают гнилевые фауты корней и стволов и способствуют их ослаблению и вывалу в структуру валежа. По нашим данным 82 % валежа первых трех лет вывала имеют гнили стволов и корней. В изучаемых биогеоценозах гнилевые фауты ели вызывают несколько видов биотрофов – *Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk, *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., *Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. et Pouzar, *Onnia triquetra* (Lentz.: Fr.) Imazeki, значительно реже и преимущественно на пихте *Phellinus hartigii* (Allesch. et Schn.) Bondartsev), очень редко *Armillaria borealis* Marxm. et Korhonen, *Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) P. Karst., еще реже *Fomitopsis cajandery* (P. Karst.) Kotl. et Pouzar. Распространенный на ели в зоне смешанных лесов *Phaeolus schweinitzii* (Fr.) Pat. в древостоях Кологрива не встречен. В табл. 3 приведена пораженность изучаемых древостоев. Наименьшие уровни поражения отмечены в биогеоценозе климаксовой фазы динамики. Учеты пораженности коренных разновозрастных лесов в других регионах, зонах растительности и формаций позволяют сделать аналогичные выводы.

Отмеченное участие дереворазрушающих биотрофных грибов в поражении древостоев в биогеоценозах климаксовых фаз динамики можно признать наиболее оптимальным для функционирования лесов. В лесах других фаз динамики эти величины будут отличаться в большую или меньшую стороны.

Валеж в структурах лесов выполняет важные функциональные задачи, являясь субстратом для деятельности дереворазрушающих грибов ксилотрофного комплекса и составляя одно из основных звеньев в круговороте вещества

Таблица 3

## Пораженность изучаемых древостоев грибами биотрофного комплекса

№ ПП	Пораженность, %, по возрастным поколениям, лет							Общий уровень пораженности древостоя
	< 40	41...80	81...120	121...160	161...200	201...240	241...280	
1-А	Подрост	26,9	37,8	30,2	25,0	52,4	30,0	32,1
5-84	Подрост	11,1	18,3	20,0	30,8	26,1	60,0	21,1
6-А	Подрост	18,1	26,8	32,2	38,4	58,3	46,6	30,8

и энергии лесных экосистем. В общем виде цепь круговорота вещества и энергии в лесном сообществе можно представить в следующем виде:

*Формирование структур фитоценоза (грибы биотрофного комплекса) → Ослабление деревьев и формирование структур текущего древесного опада (грибы биотрофного комплекса) → Формирование структур валежа (грибы биотрофного комплекса) → Разложение древесного опада (грибы ксилотрофного комплекса) → Выделение CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O + энергия (грибы ксилотрофного комплекса) → Формирование структур фитоценоза (грибы биотрофного комплекса).*

При рассмотрении всей цепи круговорота вещества и энергии в лесном биогеоценозе видно, что ее деградиционная часть (ослабление деревьев, формирование текущего древесного опада, валежа и его разложение) составляет важнейшее звено. В коренных разновозрастных лесах климаксовых фаз динамики процессы ослабления деревьев фитоценоза, отмирания их определенной части, перевода их в сухостой и валеж, накопления определенных объемов общего древесного опада, скорость разложения древесного опада и переход его в категорию верхних слоев почвы составляют единый, сбалансированный с процессами накопления биомассы автотрофами, механизм функционирования лесного сообщества [6, 7]. В лесах других структур этот баланс нарушен и степень нарушенности структур, а следовательно, нарушенности баланса накопления и разложения биомассы связывается со степенью устойчивости лесов.

Процесс разложения древесного опада непрерывен во времени, но искусственно разделяется на стадии, датированные по времени их прохождения [5–7, 8 и др.]. В очень кратком изложении датировку стадий разложения валежа ели в подзоне южной тайги можно представить в следующем виде: 1-я стадия – до 3...5 лет; 2-я стадия – до 15...20 лет; 3-я стадия – до 25...30 лет; 4-я стадия – до 35...40 лет; 5-я стадия – 45...50 лет. Можно выделить и 6-ю стадию, когда процесс разложения древесины уже прекратился, но форма стволов еще угадывается по микроповышениям. В изучаемых сообществах древесный опад имеет показатели, представленные в табл. 4.

По показаниям объемов валежа, распределенного по стадиям разложения (следовательно, по давности его образования), можно судить о динамических

Таблица 4

## Распределение объемов валежа по стадиям разложения в биогеоценозах III

№ ПП	Лесоводственная характеристика (состав, тип леса, полнота, бонитет, фаза динамики)	Запас древо-стоя, м <sup>3</sup> /га	Объем валежа, м <sup>3</sup> /га					Всего
			В том числе по стадиям разложения					
			1	2	3	4	5	
1-А	8Е1Б1Лп+Пх; кисл.-щитов.; 0,8; 1 бон.; Ар*; Кл	461,2	13,3	53,4	10,1	30,3	27,1	134,2
5-84	8Е2Б+Пх; черн.-кисл.-зелен; 0,8; 1 бон.; Ар; Кл	289,9	17,6	39,2	12,2	17,0	37,2	123,2
6-А	10Е+Пх, Б; кисл.-щитов.; 0,8; 1 бон.; Ар; Дг	365,3	4,0	34,0	23,0	34,3	108,8	204,1

\*Ар – абсолютно разновозрастный.

процессах, происходивших в структурах древостоев в ретроспективе до 60 лет. В древостое ПП 1-А значительные по объемам древесины вывалы произошли 5...10 лет назад. Относительно равномерно в структуру валежа поступали деревья в древостое ПП 5-84, но в тот же период и там фиксируются повышенные объемы вывала. В древостое ПП 6-А от 40 до 50 лет назад произошел массовый вывал деревьев, до настоящего времени этот процесс был более или менее равномерным. Во всех биогеоценозах вывалы деревьев способствуют возникновению в окнах естественного возобновления, а разлагающиеся стволы являются прекрасными естественными «грядками» для появления возобновления основной и сопутствующих пород. Уже на стволах 2-й стадии разложения могут появляться всходы ели. На стволах больших диаметров 4–5-й стадий разложения насчитывалось до 500 экземпляров подроста ели. Таким образом, по мере разложения древесины дереворазрушающими грибами ксилотрофного комплекса формируется новое поколение древостоя. В биогеоценозах заповедника «Кологривский лес» в настоящее время выявлено 46 видов дереворазрушающих грибов (табл. 5).

Таблица 5

## Дереворазрушающие грибы заповедника «Кологривский лес»

Вид	Субстрат
<i>Antrodia crassa</i> (P. Karst.) Ryvarden	Валежные стволы ели
<i>Antrodia serialis</i> (Fr.) Donk	« « «
<i>Antrodia sinuosa</i> (Fr.) P. Karst.	« « «
<i>Antrodia xantha</i> (Fr. : Fr.) Ryvarden	« « «
<i>Armillaria borealis</i> Marxm. et Korhonen	Живые и сухостойные стволы березы
<i>Bjerkandera adusta</i> (Willd. : Fr.) P. Karst.	Валежные стволы и ветви рябины и липы
<i>Cerrena unicolor</i> (Bull. : Fr.) Murrill	Валежные стволы березы
<i>Climacocystis borealis</i> (Fr.) Kotl. et Pouzar	Живые и сухостойные стволы ели
<i>Coniophora arida</i> (Fr.) P. Karst.	Валежные стволы ели

Продолжение табл. 5

Вид	Субстрат
<i>Corticium roseum</i> Pers. : Fr.	Валежные стволы ивы
<i>Cystostereum murrayi</i> (Berk. et M.A. Curtis) Pouzar	Валежные стволы ели
<i>Daedaleopsis confragosa</i> (Bolton : Fr.) J. Schröt.	Валежные стволы березы
<i>Datronia mollis</i> (Sommerf. : Fr.) Donk	Валежные стволы осины
<i>Fomes fomentarius</i> (L.: Fr.) Fr.	Живые и сухостойные стволы березы
<i>Fomitopsis cajanderi</i> (Karst.) Kotl. et Pouzar	Сильно ослабленные и сухостойные деревья ели
<i>Fomitopsis rosea</i> (Alb. et Schwein. : Fr.) P. Karst.	Валежные стволы ели
<i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat.	Валежные стволы березы
<i>Gloeophyllum odoratum</i> (Wulfen : Fr.) Imazeki	Валежные стволы ели
<i>Gloeophyllum sepiarium</i> (Wulfen : Fr.) P. Karst.	« « «
<i>Heterobasidion parviporum</i> Niemelä et Korhonen	Корни ветровальной ели
<i>Inonotus obliquus</i> (Pers. : Fr.) Pilát	Живые и ослабленные деревья березы
<i>Ischnoderma benzoinum</i> (Wahlenb. : Fr.) P. Karst.	Валежные стволы ели
<i>Leucogyrophana mollusca</i> (Fr. : Fr.) Pouzar	« « «
<i>Merulius tremellosus</i> Schrad.: Fr.	Валежные стволы березы
<i>Oligoporus tephroleucus</i> (Fr.) Gilb. et Ryvarden	Валежные стволы ели
<i>Onnia leporina</i> (Fr.) H. Jahn	Живые деревья ели
<i>Phellinus chrysoloma</i> (Pers. : Fr.) Donk	Живые и валежные стволы ели
<i>Phellinus cinereus</i> (Niemelä) M. Fisch.	Живые стволы березы
<i>Phellinus conchatus</i> (Pers.: Fr.) Quél.	Валежные стволы ивы
<i>Phellinus ferrugineofuscus</i> (P. Karst.) Bourdot et Galzin	Валежные стволы ели
<i>Phellinus hartigii</i> (Allesch. et Schnabl) Bondartsev	Живые ослабленные деревья пихты
<i>Phellinus igniarius</i> (L.: Fr.) Quel.	Живые деревья березы и ивы
<i>Phellinus nigrolimitatus</i> (Romell) Bourdot et Galzin	Валежные стволы ели
<i>Phellinus punctatus</i> (P. Karst.) Pilát	Живые деревья ивы
<i>Phellinus tremulae</i> (Bond.) Bondartsev et P.N. Borisov	Живые деревья осины
<i>Phellinus viticola</i> (Schwein.in Fr.) Donk	Валежные стволы ели
<i>Phlebia centrifuga</i> P. Karst.	« « «
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.	Ослабленные и сухостойные деревья рябины и березы
<i>Piptoporus betulinus</i> (Bull. : Fr.) P. Karst.	Валежные стволы березы
<i>Rigidoporus crocatus</i> (Pat.) Ryvarden	Валежные стволы ели

Окончание табл. 5

Вид	Субстрат
<i>Skeletocutis amorpha</i> (Fr. : Fr.) Kotl. et Pouzar	Валежные стволы ели
<i>Skeletocutis odora</i> (Sacc.) Ginns	« « «
<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar	Валежные стволы березы
<i>Trametes ochracea</i> (Pers.) Gilb. et Ryvardeen	Валежные стволы осины
<i>Trichaptum abietinum</i> (Dicks. : Fr.) Ryvardeen	Валежные стволы ели
<i>Trichaptum pargamenum</i> (Fr.) G. Cunn.	Валежные стволы березы

Данный список представляет лишь первые сведения о биоте макромицетов заповедника. Тем не менее, можно утверждать, что большая часть видов дереворазрушающих грибов (52 %) изученного участка ассоциирована с древесиной ели. Помимо широко распространенных видов здесь выявлены виды, приуроченные к старовозрастным еловым лесам – *Cystostereum murrayi* (Berk. et M.A. Curtis) Pouzar, *Phellinus ferrugineofuscus* (P. Karst.) Bourdot et Galzin, *Ph. nigrolimitatus* (Romell) Bourdot et Galzin, *Rigidoporus crocatus* (Pat.) Ryvardeen и *Skeletocutis odora* (Sacc.) Ginns.

#### Выводы

1. В современной трактовке структур лесных экосистем равнозначное значение в их функционировании придается как фитоценозу, накапливающей биомассу, так и микоценозу, более чем на 90 % ответственному за ее разложение.

2. Определены динамические характеристики изучаемых коренных еловых биогеоценозов, отражающие различное их положение в сукцессионном ряду развития.

3. Определена общая и по возрастным поколениям пораженность изучаемых древостоев грибами биотрофного комплекса. Пораженность сообществ климаксовых и близких к ним фаз динамики можно признать оптимальными для функционирования коренных разновозрастных устойчивых лесов.

4. По показателям состояния древостоев можно судить о динамических процессах в функционировании изучаемых биогеоценозов в текущий период времени; по показаниям объемов валежа, распределенного по стадиям разложения (следовательно, по давности его образования), можно судить об этих процессах в ретроспективе до 60 лет.

5. В коренных разновозрастных лесах климаксовых фаз динамики процессы ослабления деревьев фитоценоза, отмирания их определенной части, перевода их в сухостой и валеж, накопления определенных объемов общего древесного отпада, скорость разложения древесного отпада и переход его в категорию верхних слоев почвы составляют единый, сбалансированный

с процессами накопления биомассы автотрофами, механизм функционирования лесного сообщества.

6. В коренных ельниках заповедника «Кологривский лес» выявлено 46 видов дереворазрушающих грибов. В списке представлены лишь основные наиболее распространенные виды, встреченные в период последнего посещения территории девственных лесов. При следующих обследованиях будут выявлены новые для заповедника виды, характерные для дереворазрушающей биоты северных лесов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дырников С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 176 с.
2. Коренные темнохвойные леса южной тайги (резерват «Кологривский лес»). М.: Наука, 1988. 220 с.
3. Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.
4. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М., 1998. 18 с.
5. Стороженко В.Г. Датировка разложения валежа ели // Экология. 1990. № 6. С. 66–69.
6. Стороженко В.Г. Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины // Продукционный процесс и структура биогеоценозов: теория и эксперимент. М.: КМК, 2011. 122 с.
7. Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. М.: Изд-во «Гриф и К°», 2007. 190 с.
8. Шорохова Е.В., Шорохов А.А. Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках подзоны средней тайги // Тр. СПбНИИЛХ. Вып. 1. СПб., 1999. С. 17–23.
9. Nobles M.K. Identification of cultures of wood-inhabiting *Hymenomycetes* // Can. J. Bot. 1965. Vol. 43, N 9. P. 1097–1139.
10. Stalpers J.A. Identification of wood-inhabiting *Aphyllophorales* in pure culture // Studies in Micology. 1978. N 16. 248 p.

Поступила 13.12.12

V.G. Storozhenko<sup>1</sup>, V.M. Kotkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences

#### **The Condition of Indigenous Spruce Forests and Wood-Destroying Fungi of the “Kologriv Forest” Reserve (Kostroma Region)**

The authors studied the structure of the reserve’s indigenous forests and estimated the state parameters of forest stands as well as the degree of the damage caused by wood-destroying fungi of biotrophic complex. The authors also examined the role of wood-destroying fungi in the forests genesis and made an assessment of volumes of coarse woody debris. For the first time ever a list of species’ composition of wood-destroying fungi in the “Kologriv Forest” reserve is introduced in the article.

*Key words:* indigenous forest structures, fallen logs volumes, wood.

УДК 630\*187:582.475:630\*114.16(470.13-924.82)

**А.Ф. Осипов, С.Н. Кузин**

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Осипов Андрей Федорович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Коми государственный педагогический институт, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 20 печатных работ в области экологии леса, углеродного цикла в сосняках.  
E-mail: osipov@ib.komisc.ru



Кузин Сергей Николаевич родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Московский авиационный институт, ведущий инженер Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет 12 печатных работ в области фитолимата, CO<sub>2</sub> газообмена лесных сообществ, роста древесных растений, автоматизации биологических исследований.  
E-mail: kuzin@ib.komisc.ru



### **ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ СОСНЯКА ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВОГО СРЕДНЕЙ ТАЙГИ\***

Рассмотрен температурный режим болотно-подзолистой почвы спелого сосняка чернично-сфагнового средней тайги. Приведена сезонная динамика температуры почвы в слое 0...60 см. Определен период благоприятных температур для роста корней древесных растений.

*Ключевые слова:* тайга, сосняк, температурный режим почвы.

Влияние температуры почв на формирование лесных экосистем очень велико. Она обуславливает как процессы метаболизма растений, так и биологические, и химические превращения, происходящие в почве [11, 13]. Температурные условия почвенной среды определяют продуктивность фитоценозов [1, 12, 15]. Сведения о температуре почвы необходимы при моделировании динамики органического вещества почвы [10], биопродукционного процесса фитоценозов [6, 16], потока парниковых газов с поверхности почвы [8, 18]. Представляет определенный интерес и отклик температурного режима почвы на изменение климата [14, 17].

Сосновые леса на территории Республики Коми занимают 7,1 млн га, половина из которых приходится на заболоченные типы сообществ [9]. Отдельные аспекты теплового режима почв в сосняках средней тайги рассмотрены в работах Э.П. Галенко [4], А.В. Кононенко [7], К.С. Бобковой [1]. Температурный режим почвы старовозрастного ельника чернично-сфагнового

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-04-00067-а) и программы Президиума РАН № 16.

©Осипов А.Ф., Кузин С.Н., 2013

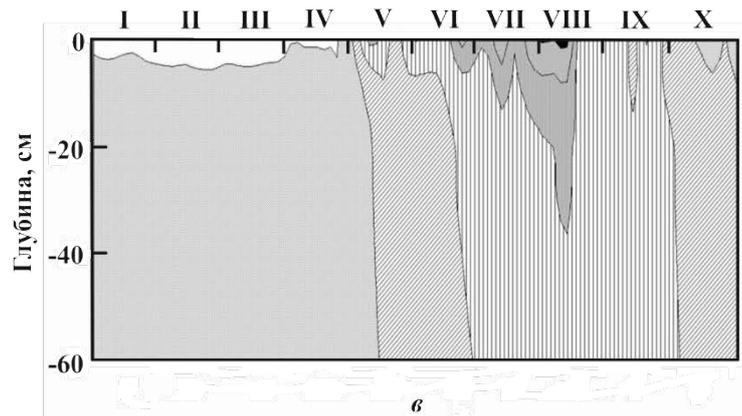
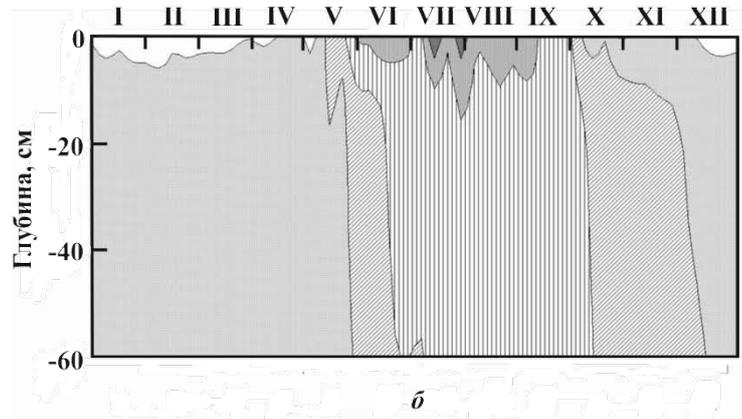
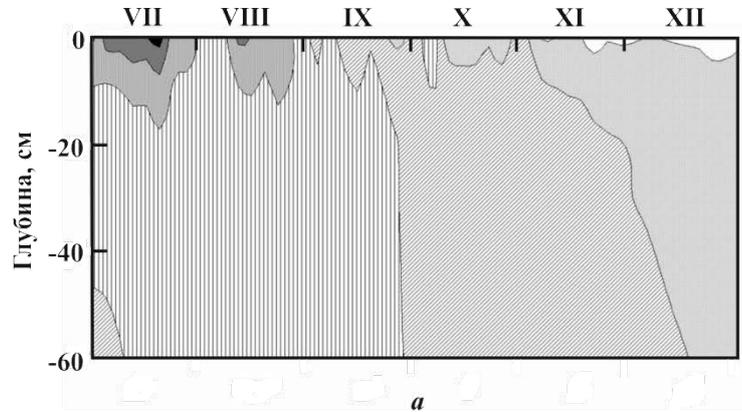
средней тайги охарактеризован в работе [3]. Однако отсутствуют данные по круглогодичной динамике температуры почвы сосновых сообществ на болотно-подзолистых почвах.

Цель данной работы – анализ годичной динамики распределения температур в почве сосняка чернично-сфагнового.

Исследования проведены в среднетаежном спелом сосняке чернично-сфагновом на территории Ляльского лесозоологического стационара (62°15' с.ш., 50°42' в.д.) Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Древостой имеет состав 10С+Е,Б,Ос, V класс бонитета, средний возраст 118 лет. Плотность растущих деревьев 1210 экз./га, запас древесины 197 м<sup>3</sup>/га, средняя высота деревьев 12,9 м, диаметр 16,3 см. Сухостой (30 экз./га) имеет запас древесины 2 м<sup>3</sup>/га. Подлесок состоит из единичных кустов рябины и ивы. Подрост (2,2 тыс. экз./га) имеет состав 59Б33С8Е и представлен в основном деревьями средней категории высоты. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием 50...70 % сложен черникой (*Vaccinium myrtillus* L.), голубикой (*V. uliginosum* L.), водяникой (*Empetrum nigrum* L.), багульником (*Ledum palustre* L.), осокой шаровидной (*Carex globularis* L.) и кассандрой (*Chamaedaphne calyculata* L.). Почти сплошной моховой ярус состоит из зеленых (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) и сфагновых (*Sphagnum warnstorffii*, *S. angustifolium*, *S. medium*) мхов. Встречаются пятна лишайников из рода *Cladonia*. Почва торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая супесчаная характеризуется торфянистой подстилкой мощностью около 19 см.

Измерение температуры проводили на поверхности почвы (среднее по трем измерениям) и на глубине 5, 10, 20, 30, 40, 60 см в непрерывном почасовом режиме с 3 июля 2008 г. по 1 ноября 2010 г. Для этого использовали датчики фирмы «НОВО» (США). Точность измерений – до 0,1 °С. На основании этих данных получали среднесуточные и среднемесячные температуры, вычисляли месячные суммы температур, определяли продолжительность периодов с температурой более 7,0 °С и более 10,0 °С [1, 13], соответствующих активной жизнедеятельности корней. Термоизоплеты по среднесуточным измерениям построены в программе Surfer 6.04.

Вегетационные периоды в годы исследований различались по своим погодным условиям. Так, в 2008 г. температура воздуха июня, июля и октября была на 0,6...3,4 °С выше средней многолетней, тогда как май, август и сентябрь были на 0,4...1,3 °С холоднее. Количество осадков за период вегетации составило 412 мм. Летние месяцы 2009 г. характеризовались незначительными (0,3...0,4 °С) отклонениями от нормы, а май, сентябрь и октябрь были теплее на 1,4...3,8 °С. Осадков выпало 465 мм. В 2010 г. отмечалась жаркая погода: среднемесячные температуры вегетационного периода были выше средних многолетних на 1,4...5,7 °С. За вегетационный период выпало 309 мм осадков, что составило 74 % от средних многолетних значений.



Динамика температуры почвы сосняка чернично-сфагнового по месяцам (I – XII) в 2008 (а), 2009 (б), 2010 гг. (в)

Начало наблюдений за температурным режимом в 2008 г. совпало со временем интенсивного прогрева почвы и обильным развитием биоты. Средняя температура на нижней границе органогенного горизонта (20 см) в это время составила 9,0 °С, на глубине 60 см – 7,5 °С (см. рисунок *a*). Таким образом, в начале наблюдения толща почвы была уже достаточно прогретой для осуществления процессов жизнедеятельности корневых систем растений. Увеличение температуры в органогенном горизонте продолжилось до начала III декады июля, достигнув среднесуточного значения 11,2 °С. На глубине 60 см максимальная температура (9,5 °С) наблюдалась в середине III декады июля. Далее следовало понижение температуры почвы по всему профилю до середины II декады августа. Затем наблюдалось некоторое повышение, а с начала сентября происходило постепенное снижение. Отрицательные температуры на поверхности почвы имели место в I декаде ноября, но недолго. Начиная с конца II декады ноября, отрицательные температуры на поверхности почвы продолжались до конца 2008 г. В этот период температура в органогенном горизонте понизилась до 2,8 °С, а на глубине 60 см – до 3,5 °С.

В 2009 г. отрицательные температуры на поверхности почвы продолжались до конца I декады мая (см. рисунок *b*). Отрицательных значений температуры в ризосфере почвы в это время не выявлено, хотя в органогенном горизонте она понизилась до 1,0 °С, а на глубине 60 см – до 1,5 °С. В мае – июне происходило интенсивное прогревание почвы, чему способствовало относительно слабое развитие травяно-кустарничкового яруса. Вегетационный период 2009 г. отличался благоприятными условиями температурного режима. Увеличение температуры органогенного горизонта продолжалось до конца июля, достигнув 11,5 °С, почвы на глубине 60 см – до середины I декады августа, однако период с благоприятными для роста корней температурами в слое 0...60 см продолжался до конца I декады октября. Кратковременный период с отрицательными среднесуточными температурами был выявлен в конце III декады октября, а постоянно они наблюдались с конца I декады декабря. К концу года среднесуточная температура органогенного горизонта понизилась до 2,5 °С, на глубине 60 см – до 3,0 °С.

В 2010 г. отрицательные среднесуточные температуры поверхности почвы продолжались с начала года до середины II декады апреля (см. рисунок *b*). Затем началось интенсивное прогревание почвы, которое продолжалось до середины августа. Максимальная температура в органогенном горизонте составила 12,5 °С, на глубине 60 см – 11,0 °С. Сентябрь этого года характеризовался довольно благоприятными термическими условиями, когда температура почвенного профиля 0...60 см была выше 8,0 °С. В конце наблюдений (1 ноября 2010 г.) температура органогенного горизонта и толщи на глубине 60 см составляла выше 5,0 °С.

Ранее было отмечено [1], что в средневозрастном сосняке чернично-сфагновом средней тайги органогенный горизонт почвы прогревался до 8,0 °С в конце III декады мая, слой 0...60 см – к концу июня. Максимальная температура в подстилке достигала 13,0 °С в III декаде июля, на глубине 60 см – 11,0 °С. На конец наблюдения (II декада октября 1984 г.) температура в слое 0...20 см опустилась до 4,0 °С, на глубине 60 см – до 5,0 °С.

Таблица 1

## Сумма среднесуточных температур (°С) почвы на различных глубинах

Месяц	Глубина почвенного профиля, см						
	0	5	10	20	30	40	60
Январь	–	–	–	–	–	–	–
	–45,4	15,2	49,6	73,6	74,6	79,9	89,4
Февраль	–	–	–	–	–	–	–
	–33,5	6,7	31,7	50,1	50,7	54,8	62,2
Март	–	–	–	–	–	–	–
	–11,5	9,0	31,7	47,9	48,9	52,6	59,4
Апрель	–	–	–	–	–	–	–
	–3,0	13,5	31,4	42,9	43,9	46,9	52,8
Май	–	–	–	–	–	–	–
	173,6	130,7	107,6	91,2	89,6	85,5	80,4
Июнь	–	–	–	–	–	–	–
	413,0	324,4	270,9	232,9	228,7	216,1	195,7
Июль	–	–	–	–	–	–	–
	504,1	414,7	349,5	289,2	282,0	268,5	248,1
Август	–	–	–	–	–	–	–
	404,6	371,9	347,6	316,4	312,3	303,7	290,0
Сентябрь	–	–	–	–	–	–	–
	190,8	236,9	254,8	263,6	263,2	263,3	262,8
Октябрь	–	–	–	–	–	–	–
	313,6	309,4	305,1	298,5	297,5	294,8	289,4
Ноябрь	–	–	–	–	–	–	–
	274,8	256,0	264,4	267,4	266,2	265,1	263,5
Декабрь	–	–	–	–	–	–	–
	108,4	164,5	191,5	208,6	209,8	212,3	217,5
	–	–	–	–	–	–	–
	75,3	152,9	194,5	217,6	218,5	223,9	232,4
	–	–	–	–	–	–	–
	77,5	131,9	176	200,8	201,5	206,5	215,2
	–	–	–	–	–	–	–
	4,1	81,5	120,6	147,0	148,6	153,8	162,4
	–	–	–	–	–	–	–
	15,4	87,5	121,0	139,3	139,2	144,5	154,4
	–	–	–	–	–	–	–
	–35,3	46,6	83,1	107,9	109,2	114,6	123,8
	–	–	–	–	–	–	–
	–24,2	42,0	80,9	102,1	102,6	108,4	119,1
	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Первая строка – данные 2008 г., вторая – 2009 г., третья – 2010 г.

Сезонная динамика суммы среднесуточных температур за месяц характеризуется их постепенным ростом с января по июль с последующим уменьшением (табл. 1). Следует отметить, что в июле–августе 2010 г. сумма сред-

несуточных температур на всех глубинах была выше, чем в аналогичные периоды 2008–09 гг. Это обусловлено аномально жарким летом 2010 г. Однако в сентябре–октябре 2008 и 2010 гг. сумма среднесуточных температур была ниже, чем в 2009 г. Этому, вероятно, способствовали благоприятные погодные условия в сентябре 2009 г.

Рассмотрим распределение температур в толще почвы. Примем за 100 % сумму температур на глубине 5 см. В таком случае на глубине 60 см тепловые ресурсы в мае, июне, июле, августе составляют соответственно 55...61, 61...67, 60...70, 78...84 %. Следовательно, внутрипочвенные градиенты температуры в торфянисто-подзолисто-глеевой супесчаной почве имеют отрицательный знак. Нагрев нижележащих горизонтов идет по типу инсоляции. В сентябре тепловые ресурсы по всему профилю почвы примерно равны, а в октябре знак внутрипочвенных градиентов становится положительным. Начинается отдача теплоты в атмосферу почвенной толщей. Положительные внутрипочвенные градиенты, которые, согласно В.Н. Димо [5] и Р.-Е. Melander с соавторами [17], в зимнее время определяют мощность и плотность снежного покрова, а также степень континентальности климата, наблюдаются с октября по апрель.

Температурный режим почвы в значительной мере определяет жизнедеятельность подземных органов растений. Как показывают данные табл. 2, продолжительность периода с благоприятными для роста корней температурами различается. Так, температура органогенного горизонта выше 7,0 °С в различные годы исследования наблюдалась в течение 90...114 дн., на глубине 60 см – 78...106 дн. Более благоприятным для осуществления процессов жизнедеятельности корней был 2009 г., менее – 2008 г. Аналогичная картина имеет место и для периода с температурой выше 10,0 °С, продолжительность которого составила 48...62 дн. в органогенном горизонте, на глубине 60 см почва не прогревалась до такой температуры в 2008 г. В 2009 г. благоприятный период для роста растений длился 45, в 2010 г. – 22 дн. Согласно данным К.С. Бобковой [1], в сосняках средней тайги продолжительность периода с благоприятной для роста корней температурой в органогенном горизонте составляет 2,0...3,0 мес., в слое до 80 см – 1,5...2,0 мес. Автором также отмечено, что торфянисто-подзолисто-глееватая гумусовая почва средневозрастного сосняка чернично-сфагнового прогревается раньше, чем подзолистая почва сосняка черничного.

Таблица 2

**Продолжительность периода (дн.) с температурами,\* благоприятными для роста корней древесных растений в сосняке чернично-сфагновом**

Год	Подстилка	Слой 0...60 см
2008	90**/48	78/0
2009	114/62	106/45
2010	101/51	96/22

\*В числителе приведены данные для температуры выше 7,0 °С, в знаменателе – для 10,0 °С.

\*\*Начало периода с этими температурами не выявлено.

Показано, что большая часть (73 %) тонких корней древесных растений в сосняках чернично-сфагновых располагается в органогенном горизонте почвы. Следует отметить, что в сосновых сообществах на болотно-подзолистых почвах рассматриваемого региона на жизнедеятельность растений большое влияние оказывают переувлажнение почвы и недостаток кислорода в верховодке [2].

Ранее А.Я. Орловым и С.П. Кошельковым [13] отмечено, что органогенный горизонт в сосняках чернично-сфагновых южной тайги прогревается раньше, чем в сосняках черничных и долгомошных. Однако их более глубокие слои прогреваются позже. Причиной, вероятно, может служить избыток влаги в сообществах на болотно-подзолистых почвах, на нагрев которой, а следовательно, и окружающей почвенной толщи требуется большее количество теплоты. В почве среднетаежного сосняка черничного свежего [3] в органогенном горизонте продолжительность периода с температурой выше 10,0 °С в различные годы варьировала от 35 до 80 дн., на глубине 40 см – от 5 до 35 дн.

Таким образом, тепловой режим торфянисто-подзолисто-глеевой или лювиально-железистой почвы спелого сосняка чернично-сфагнового средней тайги обеспечивает возможность активного роста корней в слое 0...60 см. Более благоприятные термические условия для жизнедеятельности растений существуют в органогенном горизонте, в котором находится большая часть физиологически активных корней.

Выполненное нами исследование продолжает определение теплового режима болотно-подзолистых почв и связанные с ним функции лесных экосистем Европейского Северо-Востока России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 157 с.
2. Веретенников А.В. Влияние временного избыточного увлажнения на физиологические процессы древесных растений. М.: Наука, 1964. 88 с.
3. Галенко Э.В., Бобкова К.С., Швецов С.П. Температурный режим почвы чернично-сфагнового ельника средней тайги // Лесн. журн. 2008. № 3. С. 19–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Галенко Э.П. Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
5. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1971. 58 с.
6. Комаров А.С. Пространственные индивидуально-ориентированные модели лесных экосистем // Лесоведение. 2010. № 2. С. 60–68.
7. Кононенко А.В. Гидротермический режим таежных и притундровых почв Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 144 с.
8. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2010. 50 с.
9. Леса Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова., А.И. Таскаева. М., 1999. 332 с.

10. Моделирование динамики органического вещества почв / А.В. Смагин [и др.]. М.: Изд-во МГУ, 2001. 120 с.
11. Молчанов А.А. Лес и климат. М.: Наука, 1961. 279 с.
12. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Отв. ред. Н.И. Казимиров. Л.: Наука, 1977. 304 с.
13. Орлов А.Я., Кошельков С.П. Почвенная экология сосны. М.: Наука, 1971. 324 с.
14. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Под ред. Г.А. Заварзина. М.: Наука, 2007. 315 с.
15. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 406 с.
16. Цельникер Ю.Л., Корзухин М.Д., Семенов С.М. Модельный анализ широтного распределения продуктивности лесных пород России // Лесоведение. 2010. № 2. С. 36–45.
17. Mellander P.-E., Laudom H., Bishop K. Modelling variability of snow depths and soil temperatures in Scots pine stands // Agricultural and Forest Meteorology. 2005. Vol. 133. P. 109–118.
18. Zamolodchikov D.G., Karelin D.V. Arctic hot and CO<sub>2</sub> springs: Natural model of impact of climate change on terrestrial ecosystems // Mem. Nat. Inst. Polar. Res. 2001. Spec. Issue 54. P. 437–443.

Поступила 23.12.10

**A.F. Osipov, S.N. Kuzin**

Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

#### **Thermal Regime of the Soil in Blueberry-Sphagnum Pine Forest in Middle Taiga**

The article considers the thermal regime of peaty-podzolic soil in mature bilberry-sphagnum pine forest in middle taiga. Seasonal dynamics of soil temperature in a 0...60 cm layer is presented. The period of favourable temperature for root growth of trees is determined.

*Key words:* taiga, pine forest, thermal regime of soil.

---

УДК 630\*0.23

**М.Г. Комиссарова**

Череповецкий государственный университет

Комиссарова Маргарита Геннадьевна окончила в 2006 г. Череповецкий государственный университет, аспирант кафедры биологии Череповецкого государственного университета. Имеет 7 научных работ в области экологии растений и фитоценологии.  
E-mail: mgkomissarova@mail.ru



## **ТИПЫ СЕВЕРНЫХ ПОЙМЕННЫХ ДУБОВЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**

На основании анализа полевого материала, собранного при проведении геоботанических исследований, описаны типы северных пойменных дубрав (*Quercetea*).

*Ключевые слова:* тип леса, группа типов леса, пойменные леса, лесорастительные условия, производные и коренные леса.

В пределах средней тайги Европейской России занимаемые дубовыми лесами площади сравнительно невелики и составляют лишь несколько процентов от площади лесного фонда. На северном пределе распространения дуба в лесоустроительных материалах фрагменты дубовых лесов обычно не отражаются. О существовании их можно узнать лишь от работников лесного хозяйства или местных жителей. При наличии лесотаксационных материалов, характеризующих состояние более или менее крупных по площади массивов дуба, обнаруживается очень узкий спектр типов леса, включающий чаще всего дубняки высокотравные и дубняки пойменные. Большая часть таких насаждений (около 2 тыс. га) относится к пойменным дубовым лесам Молого-Шекснинского междуречья, которые исчезли в 1945 г. при заполнении ложа Рыбинского водохранилища. Вне зоны затопления остались лишь единичные экземпляры дуба [15]. Публикации, в которых содержится информация о типах северных дубовых лесов, очень малочисленны.

Данная статья нацелена на описание типов пойменных северных дубовых лесов на территории Европейской России.

В основу работы положены результаты исследований фрагментарных пойменных дубовых лесов на линии С.-Петербург – Вологда – Киров – Пермь, проводившихся нами в 2008–2011 гг. Изучены массивы дубняков Ленинградской, Вологодской, Костромской, Кировской областей, Пермского края и Республики Удмуртия. К анализу были привлечены результаты 121 геоботанического описания, 5 временных пробных площадей, заложенных для проведения сплошной перечислительной таксации, 380 круговых площадей,

заложенных по методу В. Биттерлиха [22, 23], 395 круговых площадок, заложенных для учета лесовозобновления по методике В.Ф. Рылкова [12]. Используются также некоторые геоботанические материалы, опубликованные другими авторами и содержащиеся в документах лесоустройства. Номенклатура растений дана по В.Э. Скворцову [16].

В России нашли признание и используются несколько лесотипологических подходов [13], соответствующих той или иной лесотипологической школе. Так, лесотипологическая классификация дубовых лесов, предложенная Г.Ф. Морозовым [7] по результатам изучения дубрав Шипова леса, Теллермановской рощи и некоторых других лесных массивов, является одной из первых лесотипологических разработок. Под типом леса Г.Ф. Морозов понимал такую группу или совокупность насаждений, которая, различаясь по таксационным признакам, сходна по условиям местопроизрастания или почвенно-грунтовым условиям. В определение типа леса вкладывается содержание, позволяющее оценить лес в конкретный период времени и предвидеть его развитие в перспективе. При этом устанавливается степень соответствия между потребностями древесных пород и условиями среды. Считая, что жизнь леса может быть понята лишь в связи с условиями, в которых он живет и под непосредственным влиянием которых находится [8], Г.Ф. Морозов приводит следующую классификацию:

- дубравы на черноземе и темно-сером суглинке I бонитета;
- дубравы на темно-серых и светло-серых суглинках II-III бонитетов;
- дубравы на солонцеватых суглинках IV бонитета;
- дубравы на солонцах V бонитета;
- дубравы с высокой производительностью в тальвегах балок.

Поскольку Шипов лес (Воронежская область) расположен в центральной части ареала дуба черешчатого, почвенные и климатические условия которой заметно отличаются от условий северной части ареала, дубовые леса этих районов также имеют существенные внешние различия [9]. Тем не менее можно отыскать и общие черты. С дубравами, которые на севере произрастают исключительно в поймах рек, наибольшее сходство имеют дубовые леса тальвегов Шипова леса, в составе древостоев которых, как и на севере, важное место принадлежит осине, а в покрове – сныти и крапиве.

В.Г. Нестеров [10] предложил для выделения типов леса использовать биоэкологический подход. Тип леса он определяет, как совокупность участков леса, однородных по составу древесных пород и условиям среды. Практически выделение типов леса осуществляется в соответствии с рекомендациями Г.Ф. Морозова – по древесной породе и почве, причем для наименования типов леса используются старинные народные определения: ровнядь, мшара, бор, согра, рамень и т. п. К северным фрагментарным пойменным дубнякам могут быть применены следующие названия типов леса: дубняк-лог, дубняк припойменный, дубняк пойменный.

Эдафический подход к выделению типов леса, разработанный украинскими лесоводами [11], базируется на утверждении, что каждый участок леса является одновременно и трофо- и гигротопом. Эти две классификационные единицы представляют собой две стороны одного и того же местообитания – эдатопа, под которым подразумеваются лесные участки с одинаковыми эдафическими (почвенно-гидрологическими) условиями. Такая классификационная система представляет собой эдафическую сетку, в которой производится ординация того или иного вида растений по осям «богатство почвы» – «увлажнение почвы». Трофотопы обозначаются индексами А, В, С, D, гигротопы – 0, 1, 2, 3, 4, 5. Таким образом, каждый эда топ обозначается индексом, объединяющим трофо- и гигротоп (например, А<sub>0</sub> – очень сухие боры), характеризуя условия произрастания. По данной классификации северные пойменные дубравы представлены эдатопами С<sub>2</sub>, С<sub>3</sub>, С<sub>4</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>.

Наиболее широко при геоботанических исследованиях и лесоустроительных работах используется доминантный подход В.Н. Сукачева [18–20]. Под типом леса он подразумевал совокупность участков леса, однородных по составу древесных пород, по другим ярусам растительности и фауне, по комплексу лесорастительных условий (климатических, почвенных и гидрологических), по восстановительным процессам и направлению смен на этих участках леса и, следовательно, требующих однородных лесохозяйственных мероприятий.

Несколько шире трактуют это понятие А.Г. Долгуханов [2] и белорусские типологи [21], понимающие под типом леса группу близких друг другу биоценозов, взаимно и закономерно объединяемых по структуре и динамике развития ряда поколений растительного покрова. Впрочем, и В.Н. Сукачев [20] отмечал, что «так как биологическую равноценность местообитаний ... мы непосредственно установить почти не можем, то практически о ней мы судим по составу детерминантов, структуре, возобновляемости сообществ и по косвенно действующим факторам, в первую очередь по климату, рельефу и почвенно-грунтовым условиям» [20, с. 14, 15]. Доминантный подход к выделению типов леса может быть использован и уже использовался при классификации пойменных дубовых лесов севера.

В современных материалах лесоустройства, как правило, приводятся данные о типах леса в трактовке В.Н. Сукачева и о типах условий местопроизрастания в трактовке представителей украинской типологической школы: например, тип леса – сосняк лишайниковый, тип условий местопроизрастания – А<sub>0</sub>.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить, что рассмотренные классификации характеризуют либо качество насаждений и видовое преобладание напочвенного покрова (доминантный подход В.Н. Сукачева), либо качество древостоя и условия среды (биоэкологический подход В.Г. Нестерова), либо качество условий местопроизрастания (эдафический подход П.С. Погребняка). Гораздо реже, по причине слишком широкого толкования понятия «тип

леса», используется генетическая классификация Б.П. Колесникова [3], а по причине сложности построения – динамический [6] и эндоэкогенетический [17] подходы к выделению типов леса.

Л.П. Рысин [14] предлагает относить к одному и тому же типу леса участки со следующими показателями:

1. Наличие в древостое одной и той же господствующей породы, хотя формула состава может несколько различаться.

2. В пределах одного класса возраста различие в бонитете господствующей породы не выходит за пределы класса.

3. Наличие одних и тех же вертикальных ярусов растительности.

4. При достаточно выраженной парцеллярной структуре принадлежность основных (наиболее характерных) парцелл к одним и тем же их типам.

5. Принадлежность почвы к одной и той же почвенной разности; аналогично морфологическое строение почв, т.е. наличие одних и тех же генетических горизонтов при сходных их мощности и составе в однотипных парцеллах.

Перечисленные признаки были использованы нами при выделении типов леса в пойменных дубовых лесах.

Пойменные леса можно отнести к интразональным явлениям, очень широко распространенным в природе. Они простираются вдоль речных долин в виде сплошных и прерывистых полос. В таежной зоне и даже в пределах степной и полупустынной зон пойменным лесам (урема, тугай и др.) принадлежит исключительно важная хозяйственная и экологическая (почвозащитная, водоохранная) роль. Пойменные леса в отличие от лесных массивов на плакорах имеют особый режим увлажнения и почвенной аэрации.

Как отмечает П.С. Погребняк, «одной из самых общих черт, заставляющих выделять пойму в особую категорию местообитаний, является контрастность (амплитудность) водного режима – смена периодов переувлажнения (паводков) периодами значительного пересыхания почв или по крайней мере верхних почвенных горизонтов» [11, с. 388]. Подвижность субстрата, вызываемая постоянным чередованием эрозии и аккумуляции, – вторая не менее важная отличительная особенность пойм. В результате этих процессов почва может разрыхляться и переотлагаться, что сопровождается изменением условий роста леса. Иногда в процессе размыва уничтожаются целые массивы леса и одновременно для его появления подготавливается новый субстрат в другом месте. В период половодья корни деревьев обнажаются или, наоборот, скрываются под толщей наносов. Периодическое дополнительное увлажнение – характерная особенность пойменных лесов: повторение паводковых и меженных периодов, чередование влажных и засушливых лет может вызвать стресс и даже усыхание отдельных лесных массивов.

Территорию поймы обычно подразделяют на следующие зоны:

прирусловая зона, где процессы эрозии и аккумуляции протекают особенно энергично, преобладают рыхлопесчаные наносы, рельеф представ-

лен гривами, косами, островами и оврагами, а дренаж исключительно благоприятен для произрастания большинства растений;

центральная зона, характеризующаяся преобладанием более мелкоземлистых наносов, повышенной плотностью почв и ухудшением качества дренажа;

притеррасная зона, представленная полосой заболотей и иловатыми почвами.

Поймы обычно изрезаны системой стариц, озер, вытянутых понижений. В прирусловой зоне складываются нестабильные условия для произрастания древесных пород. Более уравновешенным почвенно-гидрологическим режимом обладают участки, выходящие из полосы размыва, т.е. места перехода от заливаемой части к незатопляемой террасе. Низкие места у основного русла заселяют кустарниковые ивы (*Salix viminalis*, *S. triandra* и др.), несколько далее – древовидные ивы (*Salix acutifolia*), ильм (*Ulmus glabra*, *U. laevis*), ольха серая (*Alnus incana*), черемуха (*Padus racemosa*), смородина (*Ribes nigrum*, *R. rubrum*).

Дуб появляется при дальнейшем продвижении к бортам пойменных образований, где почвы становятся более стабильными. Пойменные дубравы представляют собой смешанные насаждения, в состав которых (на севере ареала дуба) входят *Acer platanoides*, *Populus tremula*, *Alnus incana*, *Padus racemosa*, *Swida alba*, *Ulmus glabra*, *Frangula alnus*, *Rosa acicularis*. В составе трав заметную роль играют *Filipendula ulmaria*, *Urtica dioica*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Iris sibirica*, *Anthriscus sylvestris*, *Aegopodium podagraria*, *Polygonatum odoratum*, *Pteridium aquilinum*, *Lamium album*, *Lathyrus vernum*, *Sanicula europaea*, *Galium palustre*, *Melica nutans*, *Poa nemoralis* и др.

На заболоченных участках притеррасной поймы доминируют черноольховые насаждения, требующие постоянного избыточного увлажнения. По мере удаления от русла и подъема по склону в состав пойменных группировок начинают проникать элементы зональной растительности плакоров: сосна, ель, береза, рябина, ива козья и др.

Далее, по мере удаления от русла, господствуют ельники, в свою очередь сменяющиеся верховыми сфагновыми болотами с малопродуктивным (IV-Va бонитет) и редкостойным сосновым лесом.

А.Н. Леонтьев [5], использовавший при описании растительности морфолого-физиономический (доминантный) подход В.Н. Сукачева, выделил следующие таксоны:

дубняк орляковый (*Quercetum pteridiosum*). Состав древостоя – 10Д, сомкнутость полога – 0,7...0,8, средняя высота – 25...27 м, бонитет – I. В подлеске – смородина, липа. Травостой (проективное покрытие 0,7...0,9) представлен орляком, ландышем, вейником, костяникой, майником, купальницей, перловником, чиной и др. Присутствует подрост дуба;

дубняк липовый (*Quercetum tiliosum*). Отмечается вблизи границы подтопления. Высота – 23...25 м, диаметр – 60 см, бонитет – II-III. В составе

древостоя отмечаются береза и ель. В подлеске – липа, рябина, черемуха, крушина, шиповник, дерен. В травяном покрове (проективное покрытие 0,2...0,5) доминируют костяника, ландыш, подмаренник, будра, чина, дудник; елово-дубовый липовый лес (*Piceeto-Quercetum tiliosum*). В древостое примесь ели составляет до 60 %. В подлеске липа, рябина, черемуха. Присутствуют мхи. Имеется подрост дуба;

дубняк костяниковый (*Quercetum saxatile rubosum*). В древостое присутствуют осина, береза, ель (20...30 %). Сомкнутость крон – 0,8...1,0, бонитет – III. В подросте – дуб, осина, береза. Подлесок образуют черемуха, крушина, шиповник, калина, рябина. В травостое преобладают костяника, ландыш, хвощ, вейник, подмаренник;

дубняк осоково-вейниковый (*Quercetum caricoso-calamagrostosum*). Сомкнутость крон – 0,7...0,8, высота – 14...18 м, диаметр – 30...35 см. В подросте – дуб, осина, рябина. Подлесок образован черемухой, смородиной. В травостое (высота до 1 м) господствуют вейник, осоки;

дубняк таволгово-вейниковый (*Quercetum filipenduloso-calamagrostosum*). Приурочен к нижним отметкам пойм. Подъем воды в половодье достигает 4 м. В составе древостоя присутствуют береза и осина (до 40 %). Сомкнутость полога – 0,7...1,0, высота – 12...13 (до 18) м, диаметр – 25...30 см, бонитет – III-IV. В подросте – дуб, береза, осина. Подлесок (сомкнутость до 80 %) состоит из черемухи, крушины, калины, шиповника. Травостой (проективное покрытие 0,8...1,0) представлен вейником, лабазником, осокой.

В появившейся, как и в предыдущем случае, уже после заполнения водохранилища статье А.А. Корчагина и М.В. Сеняниновой-Корчагиной [4] также содержатся некоторые материалы об утраченных лесах Молого-Шекснинского междуречья. В составе дубовых лесов выделяются две группы ассоциаций: травяные дубняки (*herbosa*) и сложные дубняки (*composita*).

В первую группу вошли ассоциации, располагающиеся обычно вблизи русла, сразу за полосой прибрежных ив, на абсолютных высотах 88...94 м. Группа представлена следующими таксонами:

дубняк вейниково-осоковый (*Quercetum calamagrostoso-caricosum*);

дубняк таволговый (*Quercetum filipendulosum*);

дубняк таволгово-вейниковый (*Quercetum calamagrostoso-filipendulosum*).

Вторую группу (на абсолютных высотах 94...96 м) представляют:

дубняк с липой (*Quercetum tiliosum*);

дубняк с ландышем (*Quercetum convallariosum*);

дубняк орляковый (*Quercetum pteridiosum*).

В пределах указанных групп могут быть выделены таксоны, характеризующиеся наличием двух и более лесообразователей:

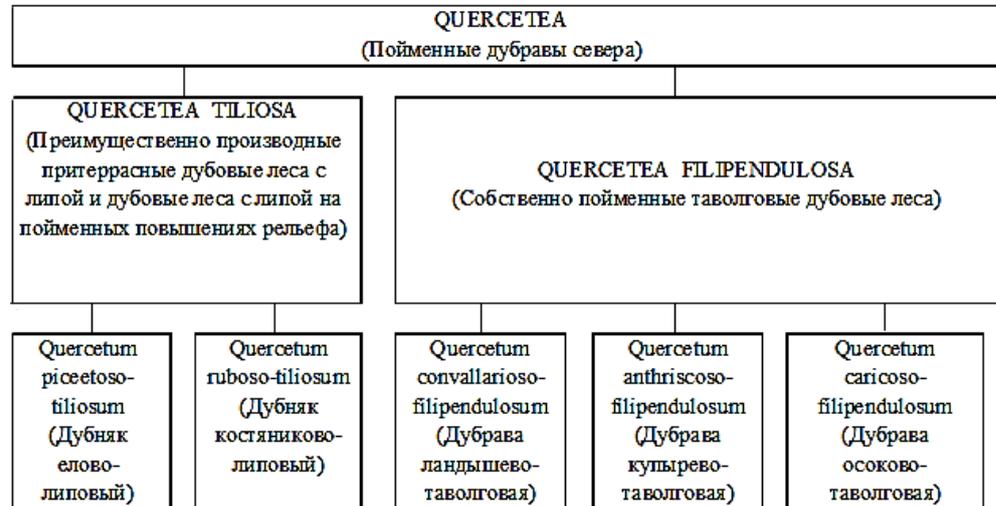
елово-дубовый лес с липой (*Piceeto-Quercetum tiliosum*);

елово-дубовый лес с ландышем (*Piceeto-Quercetum convallariosum*);

черноольхово-дубовый лес вейниково-таволговый (*Alneto-Quercetum calamagrostoso-filipendulosum*).

Специальными исследованиями, проведенными еще в 1968 г. и характеризующими биогеоценозы (почвы и растительность) «Котельнической дубовой рощи» (пойма р. Вятка), установлено, что в этом лесном массиве, где на долю дубрав приходится 361,7 га, также можно выделить два типа дубовых лесов: дубняк пойменный и дубняк пойменный с липой. Практически такой же подход был использован и при выделении типов леса национального парка «Нечкинский» (пойма р. Кама).

Анализ полевого материала, собранного при проведении собственных геоботанических (в том числе и лесотипологических) исследований, позволил нам в составе северных пойменных дубрав (*Quercetea*) выделить две резко обособленные группы типов: преимущественно производные притеррасные дубовые леса с липой и дубовые леса с липой на пойменных повышениях рельефа (*Quercetea tiliosa*) и собственно пойменные таволговые дубовые леса (*Quercetea filipendulosa*) [1]. В составе первой группы, объединяющей главным образом производные от хвойных дубовые леса, нами выделен дубняк елово-липовый (*Quercetum piceetoso-tiliosum*) и дубняк костяниково-липовый (*Quercetum ruboso-tiliosum*); вторую группу представляют дубравы ландышево-таволговые (*Quercetum convallarioso-filipendulosum*), дубравы купырево-таволговые (*Quercetum anthriscoso-filipendulosum*) и дубравы осоково-таволговые (*Quercetum caricoso-filipendulosum*) (см. рисунок). Названия лесотипологических единиц приведены в соответствии с подходом В.Н. Сукачева [19, 20].



Типы северных пойменных дубовых лесов

Группа *Quercetea tiliosa* характеризуется постоянным присутствием липы (*Tilia cordata*) в составе древостоев, что свидетельствует о большей дренированности подзолистых и дерново-подзолистых почв террас, притеррасных и пойменных повышений рельефа по сравнению с пойменными понижениями, периодически подтопляемыми и переувлажняемыми. Почти постоянно в составе

фитоценозов участвуют *Populus tremula* и *Calamagrostis arundinacea*. Наличие хвойных таежных видов в древостоях и спутников этих хвойных в нижних ярусах насаждений позволяет сделать заключение о производном происхождении растительных сообществ, образующих группу. Это справедливо для дубовых лесов с участием сосны, ели и пихты.

Дубняк елово-липовый (*Quercetum piceetosum-tiliosum*) распространен по террасам и притеррасным склонам. Как отмечают А.А. Корчагин и М.В. Сенянинова-Корчагина, «примесь ели встречалась только в хорошо дренированных участках дубового леса, представленных дубняком с липой и дубняком с ландышем. В ассоциациях же дубового леса, приуроченных к сырým и обильно увлажненным участкам поймы, ель нами не разу не была найдена... В дубняке с липой и дубняке с ландышем, приуроченным к повышенным участкам поймы..., примесь ели колебалась [в пределах] от 1...2 до 10...15 % древостоя» [4, с. 321]. При продвижении от Балтики на восток *Picea abies* постепенно сменяется другими таежными видами (*Picea obovata*, *Abies sibirica*). Почти всегда в древостоях присутствуют береза и осина. В нижних ярусах леса наряду с видами, представляющими неморальный комплекс растительности, обычны таежные виды: *Oxalis acetosella*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Pleurozium schreberi* и др. Причиной появления елово-липовых дубняков является деятельность человека (рубка леса, выпас скота и др.). Почти постоянно наличествующее возобновление ели или пихты лишь подтверждает это и свидетельствует об активно проходящем процессе восстановления коренных таежных формаций. Производительность дуба достигает здесь III и даже II бонитета.

Дубняк костяниково-липовый (*Quercetum rubosum-tiliosum*), как и предыдущий тип, имеет распространение на речных террасах, притеррасных склонах и на напоминающих островки пойменных повышениях. Почвенно-гидрологические условия здесь в большей степени приближены к условиям подтопляемых участков. Ель и пихта в этих условиях также встречаются, хотя и гораздо реже. По-видимому, данный тип дубняков относится к производным, но говорить об этом следует менее уверенно. Возможно, что какая-то часть подобных лесных массивов, а именно та из них, где липа выступает как извечный представитель свиты дуба, а не распространилась в силу деградации темнохвойного леса, является коренным образованием. В древостоях обычны береза и осина. Видовой состав нижних ярусов являет собой смешение представителей неморального и бореального комплексов растительности. Отмечаются *Viburnum opulus*, *Angelica sylvestris*, *Pteridium aquilinum*, *Calamagrostis arundinacea*, *Aegopodium podagraria*, *Fragaria vesca* и др. Широко распространены *Rubus saxatilis* и *Rubus idaeus*, что и послужило основанием для выбора названия типа леса. Производительность насаждений соответствует III бонитету. Полнота и сомкнутость крон редко превышают значение 0,6, с чем связано присутствие в олуговевшем травяном покрове *Galium verum* и различных видов *Trifolium* и *Taraxacum*. Проникновению под полог леса перечисленных и некоторых других обычных луговых светолюбивых видов способствует использование этой категории земель в качестве пастбища или места отдыха населения.

В группу *Quercetea filipendulosa* объединены типы дубовых лесов, обычно приуроченных к берегам рек, озер- стариц, проток, периодически наполняющихся полыми водами. Пойменные почвы таких местообитаний насыщены иловатыми частицами, довольно богаты, но почти всегда переувлажнены, чем и объясняется обычно низкая (IV-V бонитетов) производительность древостоев. Эти условия препятствуют произрастанию ели, пихты и липы, но являются благоприятными для ильма, черемухи, ольхи, смородины, осок, вейника, представителей пойменного высокотравья (*Urtica dioica*, *Filipendula ulmaria*, *Anthriscus sylvestris*, *Thalictrum simplex*). Обычными являются *Lysimachia nummularia*, *Impatiens noli-tangere*, *Humulus lupulus*, представители родов *Galium* и *Equisetum*. Учитывая то, что совсем небольшие по площади участки пойменных дубрав длительное время противостоят экспансии со стороны таежных растительных сообществ, можно утверждать, что они имеют не только коренное, но и реликтовое происхождение. Преимущественно семенной способ размножения, обильное плодоношение и (в большинстве случаев) многочисленный подрост дуба в условиях пойм являются подтверждением этому. Еще более убеждает в справедливости этого тезиса появление подростка дуба в местах, где (по словам местного населения) дуб никогда не встречался.

Дубрава ландышево-таволговая (*Quercetum convallarioso-filipendulosum*) чаще всего занимает надпойменно-притеррасные или террасные местоположения, при удалении от поймы постепенно сменяясь типами леса группы *Quercetea tiliosa*. Для данного типа леса характерно постоянное присутствие *Populus tremula*, *Sorbus aucuparia*, *Ribes nigrum*, *R. rubrum*, *Frangula alnus*, *Thalictrum simplex*, *Paris quadrifolia*, *Dactylis glomerata*, *Geum urbanum*, *Filipendula ulmaria*, *Convallaria majalis*, *Equisetum pratense*, *Solidago virgaurea* и др. На востоке территории обычным становится *Genista tinctoria*. Полнота и сомкнутость полога насаждений редко превышают 0,6. Производительность соответствует III-IV бонитетам. Для всей группы типов леса *Quercetea filipendulosa* свойственно широкое распространение морозобойности на стволах дуба. В условиях повышенной влажности почв это объясняется значительным накоплением в стволах деревьев влаги в осеннее время с последующим растрескиванием заболонной древесины в морозные зимы. Количество подростка очень сильно варьирует от полного отсутствия до 200 тыс. экз. на 1 га и более.

Дубрава купырево-таволговая (*Quercetum anthriscoso-filipendulosum*) обычно непосредственно примыкает к берегам ериков, озер- стариц, временных весенних водотоков, участков, подтопляемых в период половодья. С геоботанической точки зрения – это царство пойменного высокотравья, высота которого нередко превосходит рост человека. Самыми обычными видами яруса трав являются *Urtica dioica*, *Thalictrum simplex*, *Anthriscus sylvestris*, *Filipendula ulmaria*, *Calamagrostis arundinacea*, *Aegopodium podagraria*, *Heracleum sibiricum*, *Angelica sylvestris*, *Impatiens noli-tangere*, *Rumex hydrolapatum*, *Humulus lupulus*, *Equisetum pratense*. В нижнем подъярусе

травостоя доминируют *Glechoma hederacea*, *Lysimachia nummularia*. При изреживании полога распространяются луговые и даже сорные виды: *Phleum pratense*, *Acroptilon repens* и др. Подлесок образуют *Rosa acicularis*, *R. canina*, *Lonicera xylosteum*, *Ribes nigrum*, *R. rubrum*, *Swida alba*, *Sambucus racemosa*. Постоянными спутниками дуба в древостое в этих условиях становятся *Alnus incana*, *A. glutinosa*, *Padus racemosa*, *Ulmus glabra*, *U. laevis*, некоторые виды ив. Часто встречается и *Populus tremula*. Несмотря на то, что почвы достаточно богаты, периодическое их переувлажнение приводит к снижению производительности древостоев до IV-V бонитетов при полнотах 0,7...0,8 (встречаются участки с полнотами больше 1,0).

Дубрава осоково-таволговая (*Quercetum caricoso-filipendulosum*) занимает участки, периодически полностью или частично подтапливаемые или подпираемые паводковыми водами. Здесь преобладают наиболее увлажненные и довольно богатые иловатые пойменные почвы. Ильм, черемуха, ольха (серая и черная), прирусловые виды ив являются в этих условиях доминантами дуба в господствующем и подчиненном ярусах древостоя. Травяной покров представлен целым рядом влаголюбивых осок (*Carex rostrata*, *C. caespitosa*, *C. ovalis* и др.), вейника (*Calamagrostis arundinacea*), тростника (*Phragmites australis*), хвоща (*Equisetum hyemale*), вахты (*Menyanthes trifoliata*) и др. Древостои, как правило, изрежены (полнота 0,4...0,5). Производительность насаждений соответствует IV-V бонитету.

Выделявшаяся А.А. Корчагиным и М.В. Сеняниной-Корчагиной [4] ассоциация *Quercetum pteridiosum* встречена нами на столь малых площадях (главным образом в дубовых лесах со значительным участием, а то и с доминированием сосны), что эта ассоциация не рассматривалась в качестве самостоятельного типа леса. Возможно, что до момента подтопления территории Молого-Шекснинского междуречья водами Рыбинского водохранилища (1945 г.) она была распространена более широко. Ассоциацию *Quercetum convallariosum*, опираясь на собственный геоботанический анализ, мы склонны отнести не к дубнякам с липой, как это сделали вышеназванные авторы, а к таволговым типам леса.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что спектр типов пойменных дубовых лесов на северном пределе их распространения достаточно узок. Он включает пять типов, объединенных в две группы типов леса (дубняки с липой (преимущественно производные) и дубравы таволговые (коренные)) и длительное время существующих в условиях экспансии темнохвойной тайги и различных сообществ долинной растительности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин А.П., Комиссарова М.Г. Самые северные дубравы России. Вологда, 2012. 188 с.
2. Долуханов А.Г. Вопросы типологии горных лесов в связи с природой относительной непрерывности их растительного покрова. Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии // Тр. Моск. общ-ва испытателей природы. 1970. Т. 38. С. 24–33.

3. Колесников Б.П. Генетический этап в лесной типологии и его задачи // Лесоведение. 1974. № 2. С. 3–20.
4. Корчагин А.А., Сенянинова-Корчагина М.В. Леса Молого-Шекснинского междуречья // Тр. Дарвинского гос. заповедника. 1957. Вып. 4. С. 291–402.
5. Леонтьев А.М. Основные закономерности распространения растительности Молого-Шекснинского междуречья до образования водохранилища // Тр. Дарвинского гос. заповедника. 1949. Вып. 1. С. 9–32.
6. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 405 с.
7. Морозов Г.Ф. О типах насаждений и их значении в лесоводстве // Лесн. журн. 1904. Вып. 1. С. 6–25.
8. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Изд. 5-е. М.; Л.: Госиздат, 1930. 440 с.
9. Мусиевский А. Л., Есипов Н. В., Никифоров И.А. Культуры дуба в Шиповом лесу Воронежской области // Лесн. журн. 2008. № 6. С. 59–65. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Нестеров В.Г. Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961. 384 с.
11. Погребняк П.С. Общее лесоводство. М.: Изд-во с.-х. лит., 1963. 399 с.
12. Рылков В.Ф. Лесовосстановление основных типов вырубок // Воспроизводство лесных ресурсов. Новосибирск: Наука, 1988. С. 43–54.
13. Рысин Л.П. Лесная типология в СССР. М.: Наука, 1982. 216 с.
14. Рысин Л.П. Тип леса (о содержании и объеме этого понятия) // Современные вопросы лесоведения и лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1974. С. 5–17.
15. Самсонова Л.И. Флора цветковых и сосудистых споровых растений Дарвинского заповедника // Тр. Дарвинского гос. заповедника. 1959. Вып. 5. С. 5–112.
16. Скворцов В.Э. Атлас-определитель сосудистых растений таежной зоны Европейской России. М.: Гринпис России, 2000. 587 с.
17. Смагин В.Н. Леса бассейна р. Уссури. М.: Наука, 1965. 271 с.
18. Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 114 с.
19. Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов леса. М.; Л.: Гос. изд-во с.-х. и колх.-кооп. лит., 1931. 328 с.
20. Сукачев В.Н. Сущность типа леса, как растительной ассоциации // Тр. по лесному опытному делу. Л., 1929. Т. 75, вып. 1. С. 1–17.
21. Юркевич И.Д., Гельтман В.С. Соотношение понятий «лесная ассоциация» и «тип леса» (в связи с исследованием типов леса) // Ботан. журн. 1970. Т. 55, № 1. С. 34–41.
22. Bitterlich W. Das Spiegelrelascop // Österreichs Forst und Holzwirtschaft. 7 Jahrg. 1952. N 1. S. 15–20.
23. Bitterlich W. Die Winkelzahlprobe // Allgemeine Forst und Holzwirtschaftliche Zeitung. Wien. 1948. S. 3–7.

Поступила 22.06.12

**M.G. Komissarova**

Cherepovets State University

### **Types of Northern Floodplain Oak Forests of the European Part of Russia**

Types of northern floodplain oak forests (*Quercetea*) are described based on the analysis of the field materials obtained during geobotanical surveys.

*Key words:* forest type, group of forest types, floodplain forests, forest conditions, secondary and primary forests.

УДК 630\*181.22:582.475.2(1-924.82)(470.13)

*Э.П. Галенко*

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Галенко Эльмира Пантелеймоновна окончила в 1961 г. Ленинградский государственный университет, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 100 печатных работ в области экологии леса, фитолимата и биологической продуктивности таежных лесов Европейского Северо-Востока.

E-mail: galenko@ib.komisc.ru



### **ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОЗДУХА СТАРОВОЗРАСТНОГО ЕЛЬНИКА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ\***

Приведена характеристика температурных условий среды чернично-сфагнового елового ценоза подзоны средней тайги на фоне тепловых ресурсов региона. Проанализировано влияние температуры воздуха на жизнедеятельность растений. Рассмотрен суточный и сезонный ход температуры воздуха. Представлена суточная динамика температурного поля хвойного фитоценоза в зависимости от типа погоды. Выявлена продолжительность вегетационного периода и периода активной жизнедеятельности растений.

*Ключевые слова:* тайга, еловый ценоз, температурный режим воздуха.

Температура определяет структурно-функциональные особенности как отдельного растительного организма, так и сообщества в целом, потому что в условиях таежных лесов она является ведущим фактором регуляции распространения биоты [16–18, 23 и др.].

В хвойных фитоценозах эдификаторная роль древостоев способствует формированию своего температурного режима, индивидуального температурного фона в суточной и сезонной динамике. Вместе с другими компонентами микроклимата (режим солнечной радиации, влажность, ветер) температурный режим лесного массива определяет комплекс лесорастительных условий и особенности формирования и функционирования древостоя [1, 6, 9, 11, 22 и др.].

Цель данной работы – проанализировать температурные ресурсы воздуха в фитоценозе коренного чернично-сфагнового ельника средней тайги в теплый период года.

Исследования проведены на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН, который расположен в

---

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 07-04-00104, 13-04-00548) и программы Президиума РАН № 16 (рег. № 09-П-4-1002).

ельнике чернично-сфагновом (*Piceetum myrtilloso-sphagnosum*) подзоны средней тайги европейского северо-востока ( $62^{\circ} 17'$  с.ш.,  $50^{\circ} 40'$  в.д.).

Древостой V класса бонитета, небольшой густоты (количество растущих деревьев 625 экз./га), с запасом древесины 194 м<sup>3</sup>/га, разновозрастный (50...200 лет) и разновысотный, но без выраженной ярусности. Средние диаметр и высота ели соответственно 20 см и 16 м. Много сухостоя (44 экз./га), валежа (200 экз./га) разной степени разложения. Подлесок с проективным покрытием 15...20 % состоит из шиповника, ивы, можжевельника, рябины, жимолости, подрост (5,6 тыс. экз./га) – из ели, пихты, березы. Травяно-кустарничковый ярус с покрытием 60...70 % формируют черника, хвощ, осока, линнея, седмичник, майник и др. Моховой покров, который образован сфагновыми и зелеными мхами, имеет покрытие 80...90 %. Почва торфянисто-подзолисто-глеевая супесчаная, на суглинках. Фитоценоз вписывается в динамический ряд заболачивания ельников черничных [7].

С мая по октябрь 2003–06 гг. температуру воздуха фиксировали круглосуточно каждые 15 мин. Для этого использовали многоканальные транзисторные термодатчики МТ-SAT П25, подключенные к автоматизированной системе сбора фитоклиматических данных на базе персонального компьютера. Точность измерений 0,1 °С. Изучение распределения температуры воздуха внутри полога древостоя проводили по вертикальному профилю в характерном для ельника фрагменте древостоя (парцелле). Для решения поставленной задачи была сооружена деревянная вышка высотой 20 м с выносными в кроновое пространство площадками длиной 3,5 м. Показания снимали на пяти уровнях высоты, м: 20,0 – над пологом древостоя, 13,0 – верхняя треть, 9,0 – середина, 4,5 – нижняя треть кронового пространства, 1,8 – подпологовое пространство. Полученные данные обрабатывали в программе EXCEL. Суммы температур воздуха за каждые сутки, месяц, сезон определяли по Licor-1200 [8].

#### *Общая характеристика температурного режима региона в годы исследований*

Характеристика температурного режима воздуха приведена за май–октябрь 2003–06 гг. с использованием данных Коми РЦ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по метеостанции Усть-Вымь, расположенной в 15...20 км от объекта исследования (табл. 1). Установлено, что среднемесячные температуры воздуха от 8...12 °С в мае повышаются до 11...12 °С в июне и до 14...20 °С в июле-августе, снижаются до 8...10 °С в сентябре и до 0...5 °С в октябре. Отклонения от многолетней нормы в сторону похолодания были в 29 % случаев и составляли от –0,1 до –2,9 °С, в сторону потепления, когда температура была на 0,4...4,4 °С выше нормы, – в 71 % случаев. Максимальные температуры воздуха в мае и сентябре поднимались до 28...29 °С, в июне-августе – до 31...32 °С, в октябре – до 19 °С. В мае, июне и сентябре низкие температуры воздуха могут вызвать заморозки до –2...–4 °С, а в июле-августе опуститься до 1...4 °С.

Таблица 1

## Температурный режим воздуха

Год	Месяц	Температура, °С			
		Средняя	Отклонение от нормы	Max	Min
2003	Май	10,9	4,1	24	-3
	Июнь	10,8	-2,9	29	-1
	Июль	18,4	2,1	29	6
	Август	17,1	3,4	31	5
	Сентябрь	7,9	0,4	19	-2
	Октябрь	3,9	3,8	17	-11
2004	Май	8,3	1,5	27	-3
	Июнь	12,5	-1,2	31	-2
	Июль	19,9	3,3	32	6
	Август	13,4	-0,3	28	1
	Сентябрь	8,8	1,3	22	-2
	Октябрь	1,2	1,1	12	-6
2005	Май	11,9	5,1	29	-3
	Июнь	13,6	-0,1	26	1
	Июль	17,2	0,9	31	5
	Август	15,6	1,9	28	3
	Сентябрь	9,6	2,1	19	-1
	Октябрь	4,5	4,4	19	-10
2006	Май	9,5	2,7	22	-3
	Июнь	17,5	3,8	32	4
	Июль	14,5	-1,8	31	4
	Август	13,5	-0,2	24	2
	Сентябрь	8,6	1,1	22	-4
	Октябрь	0,0	-0,1	11	-10

Для хвойных растений критическим периодом является выход их из состояния покоя в конце зимы–весной, который происходит при температуре воздуха от  $-5$  до  $10$  °С. При температурах выше  $5$  °С дерево может начинать рост [5, 10, 21].

В табл. 2 представлены даты перехода среднесуточной температуры воздуха через  $5$  и  $10$  °С и продолжительность периодов вегетации и активной жизнедеятельности растений. В годы исследований период вегетации начинался в конце апреля – начале мая, что близко к среднегодовой дате, но заканчивался на  $2,0...3,0$  нед. позже. Только в 2006 г. период со среднесуточной температурой воздуха выше  $5$  °С наступил значительно раньше, в середине апреля, период вегетации закончился 24 сентября, что соответствовало многолетней норме. Следовательно, вегетационный период все 4 года наблюдений был длиннее среднегодовой нормы на  $3,0...3,5$  нед. Период с температурами воздуха  $10$  °С и выше, соответствующий активной жизнедеятельности растений, начинался 7–9 мая и заканчивался 2–12 сентября, т. е. был продолжительнее среднегодовой нормы на  $20...30$  дн.

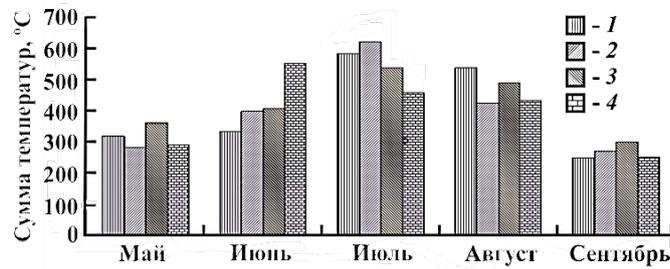
Таблица 2

**Даты перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 и 10 °С  
и продолжительность вегетационного периода  
и периода активной жизнедеятельности растений**

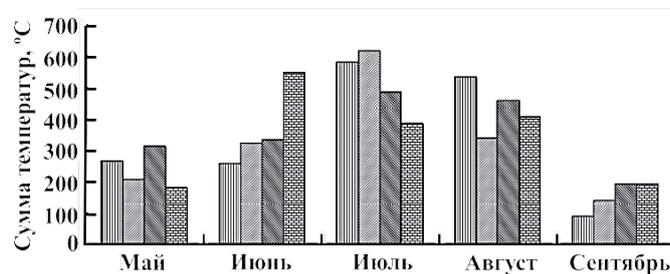
Год	Дата перехода		Продолжительность, дн.	
	Вегетационный период	Период активной жизнедеятельности	Вегетационный период	Период активной жизнедеятельности
2003	30.04–16.10	07.05–02.09	167	118
2004	29.04–10.10	09.05–03.09	165	117
2005	06.05–17.10	08.05–11.09	164	127
2006	15.04–24.09	08.05–12.09	163	128
Средне- многолетнее значение*	06.05–26.09	29.05–01.09	142	96

\*Справочник [20].

Ежемесячные суммы эффективных ( $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температур в мае составляли 280...360  $^{\circ}\text{C}$ , июне–августе – 330...620  $^{\circ}\text{C}$ , в сентябре – 245...295  $^{\circ}\text{C}$ . В сумме за сезон этот показатель достаточно стабилен и равен 1965...2075  $^{\circ}\text{C}$ . Ежемесячные суммы активных ( $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температур в мае колебались от 180 до 265  $^{\circ}\text{C}$ , в июне–августе – от 260 до 615  $^{\circ}\text{C}$ , в сентябре – от 90 до 190  $^{\circ}\text{C}$ , за весь сезон – от 1620 до 1780  $^{\circ}\text{C}$  (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Изменение суммы эффективных (а) и активных (б) температур воздуха: 1 – 2003 г.; 2 – 2004 г.; 3 – 2005 г.; 4 – 2006 г.

Таблица 3

## Статистические показатели сумм эффективных и активных температур

Месяц	Сумма температур, °С					
	эффективных ( $\geq 5$ °С)			активных ( $\geq 10$ °С)		
	$\bar{X}$	$\bar{\sigma}$	V, %	$\bar{X}$	$\bar{\sigma}$	V, %
Май	313,8 ± 16,3	32,5	10,4	245,1 ± 24,9	49,8	20,3
Июнь	426,5 ± 42,4	84,8	19,9	360,3 ± 53,6	107,2	29,8
Июль	547,5 ± 31,6	63,2	11,5	518,9 ± 49,2	98,5	19,0
Август	470,6 ± 23,1	46,3	9,8	433,5 ± 37,8	75,6	17,4
Сентябрь	262,2 ± 11,0	22,0	8,4	158,8 ± 23,1	46,3	29,1

Сопоставление статистических показателей [14] сумм эффективных и активных температур воздуха (табл. 3) показало, что, во-первых, в течение сезона изменчивость сумм как эффективных, так и активных температур наибольшая в июне, наименьшая – в августе; во-вторых, колебание сумм активных температур значительнее.

Необходимо отметить, что регулярно в мае–июне, в начале жизнедеятельности растений, с притоком холодного арктического воздуха наступает резкое похолодание. Вегетация замирает (период вегетации прерывается). Среднесуточная температура воздуха в эти дни опускается до 3...4 °С, минимальная – до –2...–4 °С. Такие явления были 30 мая–4 июня 2003 г., 13–16 мая 2004 г., 22–30 апреля 2006 г. Среднесуточные температуры воздуха ниже 10 °С могут быть в любой месяц теплого времени года. В нашем случае: 26 мая–22 июня 2003 г.; 12–20 мая, 2–14 июня и 10–20 августа 2004 г.; 29 мая–7 июня и 4–10 июля 2005 г.

*Влияние температуры воздуха на жизнедеятельность растений*

Внутренний ритм биологических процессов, происходящих в растении, определяется как генетическими особенностями организма, так и факторами внешней среды [1, 5, 10, 15].

В условиях европейского северо-востока ведущим фактором в продукционном процессе лесных фитоценозов является тепло, сезонная динамика которого обуславливает вариабельность роста и формирования надземных и подземных вегетативных и репродуктивных органов растений. По данным А.А. Молчанова [16], В.В. Смирнова [19] и И.Т. Кищенко [12], температура воздуха влияет на интенсивность роста побегов хвойных в основном в первую половину вегетационного периода. Далее хвойные начинают постепенно входить в состояние покоя, хотя внешние условия еще благоприятны для их роста. Недостаток тепла в первую половину вегетации вызывает замедление или полную остановку жизненных процессов в растениях. Во второй половине сентября–начале октября при пониженных положительных температурах идет процесс первой фазы закаливания деревьев при низких температурах (до –12 °С), который сопровождается накоплением сахаров. Прохождение второй фазы закаливания

идет уже при установившихся отрицательных температурах. В растениях уменьшается количество свободной воды, деревья способны выдерживать температуры до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже. Развитие глубокого покоя – один из основных признаков адаптации растений Севера к условиям среды [5, 10, 21].

В условиях средней подзоны тайги европейского северо-востока исследованиями К.С. Бобковой, А.И. Патова [2, 3, 4, 24] установлено, что успешность формирования вегетативных органов у ели во многом определяется экологическими условиями. Ростовые процессы в вегетативных органах надземной части ели начинаются при сумме положительных температур воздуха  $190\text{...}230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , почек – при  $230\text{...}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , раскрытия почек (рост хвои) –  $300\text{...}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Пробуждение и рост подземных органов сосны и ели происходит при сумме температур воздуха  $270\text{...}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент корреляции между приростом побегов и среднесуточной температурой воздуха в первой половине вегетации составляет  $0,61\text{...}0,74$ . Корреляционная связь между приростом хвои и температурой воздуха заметна только до кульминации ее нарастания и находится в тех же пределах, что и между температурой и побегам. Амплитуда колебания средней суточной температуры влияет на изменение прироста побегов. Резкие понижения средней суточной температуры до  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в начале периода вегетации неоднократно вызывали снижение интенсивности ростовых процессов, что приводило к значительному отставанию общего сезонного прироста побегов хвойных. Особенно сильно на жизнеспособность ели сказываются периоды с отрицательными температурами воздуха, вызывая массовое отмирание молодых побегов. Энергичный рост надземных органов протекает обычно во второй половине июня – начале июля. Довольно тесная связь ( $R = 0,56\text{...}0,63$ ) имеется между приростом деревьев в диаметре и среднесуточной температурой воздуха.

Как показали исследования В.А. Артемова, В.Б. Скупченко, Н.В. Ладановой этих же объектов [23], весеннее пробуждение почек хвойных совпадает с периодом устойчивого перехода температуры воздуха через  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Влияние экологической обстановки на жизнеспособность пыльцы во время ее формирования проявляется в ежегодном варьировании физиологической разнокачественности пыльцевых зерен. Так, понижение температуры воздуха до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  даже на  $2\text{...}4\text{ ч}$  вызывает снижение жизнеспособности пыльцы до  $30\%$ . Погодные условия второй половины сезона вегетации определяют темпы эмбрионального развития генеративных органов, размеры микростробилов, количество спороносных листьев в колоске, потенциальные возможности прироста хвоинок в следующем году.

Согласно исследованиям В.В. Тужилкиной [13, 23], в условиях средней тайги процессы фотосинтеза у сосны и ели начинаются в апреле при температуре воздуха  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , фотосинтетическая активность продолжается около 6 мес. Максимальные скорости ассимиляции этих пород отмечены в июле при наиболее благоприятном сочетании температурных и световых условий. Коэффициенты корреляции между фотосинтетической активностью хвои сосны

Таблица 4

**Продолжительность периодов (дн.) со среднесуточной температурой воздуха  
выше 5 и 10 °С (на высоте 20...22 м)**

Месяц	2003 г. (14.05 – 20.10)		2004 г. (21.05 – 24.10)		2005 г. (14.05 – 25.10)		2006 г. (09.06 – 31.10)	
	≥ 5 °С	≥ 10 °С						
Май	15	15	11	11	18	18	–	–
Июнь	26	18	25	18	30	20	22	18
Июль	31	31	31	31	31	31	31	31
Август	31	31	31	21	31	26	31	23
Сентябрь	26	3	19	7	27	12	22	11
Октябрь	16	3	5	0	16	5	1	0
<i>Итого за сезон</i>	145	101	122	88	153	112	106	83

и ели и температурой воздуха равны 0,67...0,87 в суточной и 0,61...0,74 в сезонной динамике. Температура воздуха оказывает значительное влияние и на транспирацию и водный дефицит хвойных, изучавшихся С.Н. Сенькиной [2, 23]. Следовательно, жизнедеятельность растений адаптирована к умеренным температурам, преобладающим в течение вегетационного периода [1].

С учетом особенностей ростовых процессов вегетативных и репродуктивных органов ели в зависимости от экологических факторов проанализированы данные по температуре воздуха выше 5 и 10 °С в 2003–06 гг. (табл. 4), что позволило определить вероятность встречаемости температур воздуха ниже 5 (прерывание периода вегетации) и выше 10 °С (наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности растительности).

Так, среднесуточная температура воздуха ниже 5 °С не наблюдалась только в июле–августе. В июне вероятность ее повторения составляет 0...17, в сентябре – 13...37, в октябре 48...97 %. Среднесуточные температуры воздуха выше 10 °С возможны в июне, июле, августе, сентябре и октябре соответственно на 60...67, 77...100, 68...100, 10...40, 0...10 %.

В 2003, 2004 и 2006 гг. необходимые для начала роста побегов суммы температур воздуха наступили в III декаде мая, для пробуждения почек – на 3–5 дн. позже, для их раскрытия и начала роста хвои – 25 мая–5 июня. Исключением был 2005 г., когда соответствующие условия для ростовых процессов вегетативных органов древесных наблюдались на 5...10 дн. раньше обычных сроков.

Суточный ход температуры воздуха в летний день в зависимости от облачности представлен на рис. 2. В качестве примера рассмотрены ясный и пасмурный дни и день с переменной облачностью в июле 2006 г. Ясный день характеризуется одним максимумом в 15:00–16:00 и одним минимумом температуры в 3:00–4:00. Интенсивное повышение температуры начинается с восходом солнца (4:00–4:30) и продолжается до 8:00–9:00. Затем рост температуры воздуха замедляется. Интенсивное понижение температуры происходит от 18:00–19:00 (высота солнца ≤ 20°) до 22:00–23:00.

В пасмурный день температура воздуха повышается в дневные часы на 3...5 °С, достигая максимальных значений в 14:00–16:00. К 18:00 она снижается практически до минимума и держится на этом уровне вечер, ночь и утро. В день с переменной облачностью продолжительность периода с относительной стабилизацией повышенных температур длится от 8:00–9:00 до 22:00–23:00 без четкого определенного максимума.

Суточная амплитуда колебания температуры изменялась от 4,8 °С в пасмурный день до 10,7 °С в день с переменной облачностью

и до 15,8 °С в ясный день, т. е. при изменении условий облачности (пасмурно – переменное – ясно) амплитуда суточного колебания температуры воздуха изменяется в 2–3 раза.

Сезонная динамика температуры воздуха. В течение сезона среднесуточная температура воздуха изменялась в следующем диапазоне: в мае–июне – от –1 до 24 °С, в июле–августе – от 7 до 25 °С, в сентябре – от 1 до 17 °С (табл. 5).

При этом абсолютные минимумы температуры воздуха в отдельные часы суток 2003–06 гг. составляли: –2,5...–3,3 °С – в мае; –0,7...5,2 °С – в июне; 4,5...7,8 °С – в июле; 0,5...8,7 °С – в августе; –1,2...–2,5 °С – в сентябре. Максимальные температуры поднимались в мае до 30 °С, в июне–августе – до 31...32 °С; в сентябре – до 22...23 °С (табл. 5).

Вертикальные профили среднесуточной температуры воздуха в древесном пологе ельника в зависимости от типа погоды представлены на рис. 3. Приведены кривые температурной стратификации в ясные дни (1–3), в дни с переменной (4–6) и сплошной облачностью (7–9). Как закономерность, следует отметить повышение среднесуточной температуры воздуха с высотой в пологе ельника чернично-сфагнового при любом типе погоды. Наиболее существенное (2,5...4,4 °С) увеличение температуры воздуха происходит в малооблачную погоду. В дни с переменной облачностью воздух в кроновом пространстве на 0,2...1,1 °С теплее, чем у поверхности земли, в пасмурную погоду – на доли градуса (0,3...0,8 °С).

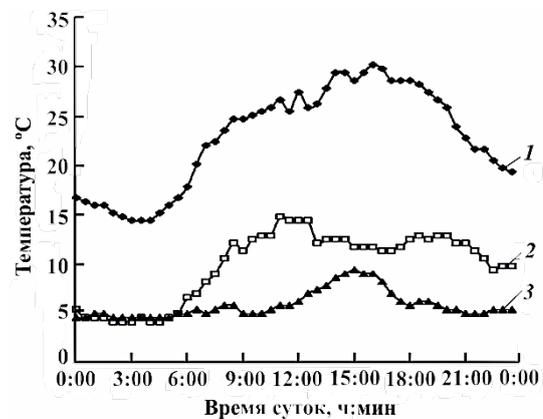


Рис. 2. Суточный ход температуры воздуха в зависимости от типа погоды в ельнике чернично-сфагнового подзоны средней тайги: 1 – ясно (10.07.06 г.); 2 – переменное (07.07.06 г.); 3 – пасмурно (23.07.06 г.)

Таблица 5

Месяц	2003 г.						2004 г.						2005 г.						2006 г.					
	Min		Max		Амплитуда		Min		Max		Амплитуда		Min		Max		Амплитуда		Min		Max		Амплитуда	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Май	3,5	17,1	13,6	19,9	20,9	18,7	3,2	21,9	18,7	21,9	18,7	2,4	15,1	12,7	12,7	2,4	15,1	12,7	2,4	15,1	12,7	2,4	15,1	12,7
Июнь	-2,8	24,4	27,2	27,5	30,8	30,8	-3,3	27,5	30,8	30,8	30,8	-2,5	29,7	32,2	22,0	-2,5	29,7	32,2	22,0	-2,5	29,7	32,2	22,0	24,5
Июль	1,6	21,1	19,5	23,9	18,7	18,7	5,2	23,9	18,7	18,7	7,3	20,0	12,7	23,5	14,6	8,9	23,5	12,7	23,5	8,9	23,5	14,6	26,3	26,3
Июль	-0,2	28,0	28,2	30,5	29,8	29,8	0,7	30,5	29,8	29,8	29,8	1,5	26,0	24,5	31,5	5,2	26,0	24,5	31,5	5,2	26,0	24,5	16,8	16,8
Июль	11,2	22,4	11,2	24,4	11,3	11,3	13,1	24,4	11,3	11,3	11,3	12,3	24,6	12,3	23,6	6,8	24,6	12,3	23,6	6,8	23,6	16,8	16,8	16,8
Июль	4,8	29,4	24,6	32,3	26,4	26,4	5,9	32,3	26,4	26,4	3,3	30,3	27,0	31,6	27,1	3,3	30,3	27,0	31,6	27,1	31,6	10,9	10,9	10,9
Август	11,7	24,8	13,1	20,7	12,8	12,8	7,9	20,7	12,8	12,8	12,8	10,5	22,0	11,5	18,6	7,7	22,0	11,5	18,6	7,7	18,6	22,4	22,4	22,4
Август	6,6	31,8	25,2	28,4	27,9	27,9	0,5	28,4	27,9	27,9	2,0	28,8	26,8	23,4	22,4	1,0	28,8	26,8	23,4	1,0	23,4	22,4	22,4	22,4
Сентябрь	2,7	11,8	9,1	15,4	11,3	11,3	4,1	15,4	11,3	11,3	11,3	3,0	14,3	11,3	16,4	0,9	14,3	11,3	16,4	0,9	17,3	16,4	16,4	16,4
Сентябрь	-1,2	17,2	18,4	21,9	23,4	23,4	-1,5	21,9	23,4	23,4	23,4	-1,4	20,2	21,6	25,2	-2,5	20,2	21,6	25,2	-2,5	22,7	25,2	25,2	25,2
Октябрь	-7,6	13,4	21,0	7,3	10,5	10,5	-3,2	7,3	10,5	10,5	10,5	-6,0	13,6	19,6	17,8	-7,2	13,6	19,6	17,8	-7,2	10,6	17,8	17,8	17,8
Октябрь	-10,6	17,8	28,4	10,9	16,9	16,9	-6,0	10,9	16,9	16,9	16,9	-8,2	20,2	28,4	21,9	-10,4	20,2	28,4	21,9	-10,4	11,5	21,9	21,9	21,9

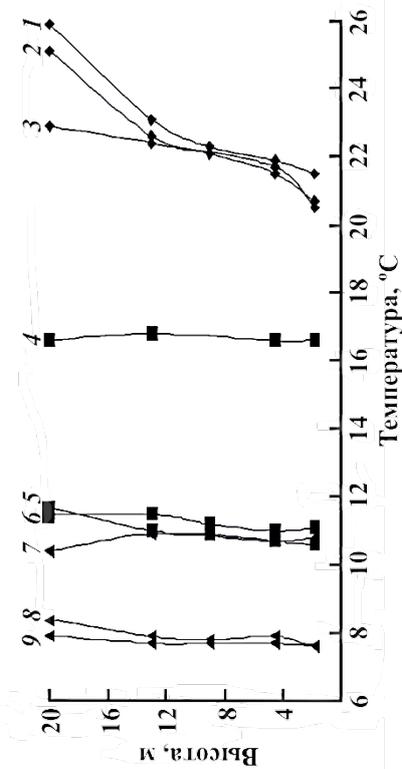


Рис. 3. Вертикальные профили среднесуточной температуры воздуха в зависимости от типа погоды в ельнике чернично-сфагновом средней подзоны тайги: 1–3 – ясно (25.07.05 г.; 05.07.04 г.; 10.07.06 г.); 4–6 – переменнo (19.07.06 г.; 13.06.04 г.; 03.06.05 г.); 7–9 – пасмурно (29.07.06 г.; 06.07.95 г.; 12.06.04 г.)

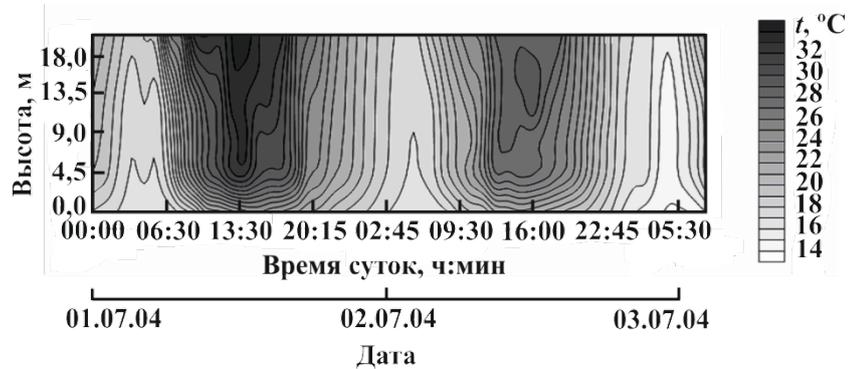


Рис. 4. Пространственно-временное распределение температуры ( $t$ ) воздуха в ельнике чернично-сфагновом подзоны средней тайги в малооблачную погоду

Пространственно-временное температурное поле. Анализ работ по оценке температурного режима воздуха в древостоях, показывает, что пространственно-временная изменчивость его в пределах отдельных экотопов изучена сравнительно слабо. Путем прямых измерений было получено и оценено температурное поле в ельнике чернично-сфагновом в малооблачный день (рис. 4). Сравнивая рис. 3 (кривые 1, 2, 3) и рис. 4, следует отметить, что температурная стратификация, формирующаяся под воздействием радиационного баланса, турбулентного теплообмена и вертикального распределения фитомассы, является интегральным индикатором типа фитолимата. В малооблачный (ясный) день четко прослеживается температурная инверсия (увеличение температуры воздуха с высотой) в пологом пространстве фитоценоза, т. е. имеет место тенденция к установлению инверсионного типа фитолимата. Максимальные температуры отмечаются в верхней половине кронового пространства.

#### Выводы

Таким образом, в условиях подзоны средней тайги европейского северо-востока в годы исследований (2003–06 гг.) вегетационный период был продолжительнее среднегодовой нормы на 3,0...3,5 нед., период активной жизнедеятельности растений – на 20...30 дн. Суммы эффективных и активных температур составили соответственно 1965...2075 и 1620...1780 °С, что превышает многолетнюю норму на 15...30 %. Полученные результаты достаточно надежно вписываются в модель (схему) глобального потепления климата в последние десятилетия.

Анализ пространственно-временного температурного поля в ельнике чернично-сфагновом показал, что в малооблачные дни в пологом пространстве имеет место инверсионный тип фитолимата. Максимальные температуры воздуха отмечаются в верхней половине крон. Положительный температурный градиент ( $\Delta t = t_{20} - t_{1,8}$ ) в летние месяцы (июнь–август) может достигать более

6 °С (2...6 % случаев). В основном разность температуры воздуха на высотах 20,0 и 1,8 м не превышает 4 °С. В весенне-осенние месяцы (май, сентябрь, октябрь), как правило, воздух в верхней трети крон на 0,1...2,0 °С (82...96 %) теплее, чем под пологом, редко – на 4...6 °С (до 3 % случаев в месяц). Отрицательный температурный градиент ( $\Delta t = -(t_{20} - t_{1,8})$ ), когда приземный воздух теплее воздуха в кроновом пространстве, наблюдается в 0...3 % случаев в месяц и не превышает обычно 0,1...0,3 °С. В октябре (предзимний месяц) – это дни при отрицательных температурах воздуха.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Световой режим леса. Л., 1975. 225 с.
2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2001. 278 с.
3. *Бобкова К.С., Богданова Т.Л.* Сезонная динамика роста корней сосны и ели // Экология роста и развития сосны и ели на северо-востоке европейской части СССР: Тр. Коми фил. АН СССР. Сыктывкар, 1979. № 44. С. 46–53.
4. *Бобкова К.С., Патов А.И.* Сезонная динамика роста побегов и корней // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. Л.: Наука, 1981. С. 93–102.
5. *Веретенников А.В.* Физиология растений Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2002. 272 с.
6. *Выхристюк М.М.* Фитоклимат прибрежных лесов северного Байкала. Новосибирск: Наука, 1980. 216 с.
7. *Галенко Э.П., Бобкова К.С., Швецов С.П.* Температурный режим почвы чернично-сфагнового ельника средней тайги // Лесн. журн. 2008. № 3. С. 19–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Галенко Э.П.* Радиационный режим в заболоченном старовозрастном ельнике подзоны средней тайги // Лесоведение. 2010. № 5. С. 20–30.
9. *Галенко Э.П.* Фитоклимат и энергетические факторы продуктивности хвойного леса Европейского Севера. Л.: Наука, 1983. 129 с.
10. *Елагин И.Н.* Сезонное развитие сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 1976. 230 с.
11. *Золотокрылин А.Н.* Радиационно-тепловой режим как фактор продуктивности еловых и сосновых насаждений в подзоне смешанных лесов: автореф. дисс. ... канд геогр. наук. М., 1975. 37 с.
12. *Кищенко И.Т.* Сезонный рост побегов и хвои сосны в разных частях кроны // Лесоведение. 1983. № 3. С. 27–32.
13. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции / Отв. ред. К.С. Бобкова, Э.П. Галенко. СПб.: Наука, 2006. 337 с.
14. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
15. *Молчанов А.А.* Лес и климат. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 279 с.
16. *Молчанов А.А.* Рост и плодоношение древесных пород в связи с метеорологическими условиями // Тр. лаб. лесоведения. Т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5–50.
17. *Протопопов В.В.* Средообразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
18. *Радченко С.И.* Температура и растение. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1967. 143 с.

19. Смирнов В.В. Сезонный рост главных пород деревьев. М., 1964. 167 с.
20. Справочник по климату СССР. Вып. I, ч. II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 340 с.
21. Туманов И.И. Физиология закаливания и морозостойкости растений. М.: Наука, 1979. 352 с.
22. Цветков В.Ф. Этюды экологии леса: моногр. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. 354 с.
23. Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера /Отв. ред. А.В. Веретенников. Л.: Наука, 1981. 232 с.
24. Эколого-физиологические основы продукционного процесса хвойных фитоценозов на Севере / К.С. Бобкова, Э.П. Галенко, В.В. Тужилкина, С.Н. Сенькина // Сер. препр.: Науч. докл. Коми НЦ УрО АН СССР. Сыктывкар, 1989. Вып. 213. 28 с.

Поступила 30.07.10

***E.P. Galenko***

Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

#### **Thermal Regime of Old Spruce Forests in Middle Taiga**

The article provides characteristics of the thermal regime of bilberry-sphagnum spruce coenosis located in the middle taiga subzone. The effect of air temperature on the life of plants was studied. Diurnal and seasonal temperature ranges were considered. The diurnal thermal regime dynamics of coniferous phytocoenosis depending on the weather type is presented. Duration of vegetation and active plant growth periods for the years of research was estimated.

*Key words:* taiga, spruce forest, thermal regime.

---

УДК 630\*383

*Е.Г. Гладков<sup>1</sup>, О.Г. Плехов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

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

Гладков Евгений Георгиевич родился в 1944 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса С.-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова. Имеет 3 монографии, более 50 научных и учебно-методических работ в области математического моделирования процессов и объектов лесного комплекса. E-mail: gladkov2807@yandex.ru



Плехов Олег Георгиевич родился в 1934 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 60 научных трудов в области промышленного транспорта. Тел.: 8-911-563-86-20



## **УСЫХАЮЩИЕ ЛЕСА: МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОГО ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ\***

Разработана экономика-математическая модель для обоснования региональных планово-проектных решений освоения усыхающих лесов Архангельской области, позволяющая обосновать распределение инвестиций в элементы региональной структуры и обеспечивающая максимальную прибыль на рассматриваемых лесозаготовительных производствах за период планирования.

*Ключевые слова:* усыхающие леса, региональное лесопользование, математическая модель, лесотранспортная сеть, обоснование решений.

Проблема освоения усыхающих лесов Архангельской области имеет много аспектов. Комплексный взвешенный системный подход к ее решению в части транспортного освоения лесных массивов в современных условиях предполагает разработку математических инструментов, рассматривающих всю полноту экономических, производственных, лесоводственных, социальных и иных связей и ограничений. Методы обработки космических снимков

---

\*Исследования проведены в соответствии с планом-графиком работ по проекту «Создание высокотехнологичного производства щепы из сухостойной древесины для получения сульфатной целлюлозы», победившему в конкурсе на право получения субсидии для выполнения НИОКР на основании постановления Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 г. (государственный контракт №13.G25/31/0036 от 07.09.2010 г. ОАО «Соломбальский ЦБК»).

©Гладков Е.Г., Плехов О.Г., 2013

лесных территорий в последние годы интенсивно разрабатываются в Институте информационных и космических технологий САФУ и позволяют выявить ареалы биологического повреждения и усыхания лесов на ранней стадии [1, 2]. Это дает возможность своевременно проектировать комплекс работ по освоению усыхающих еловых лесов с биоповреждениями.

Нами предложена экономико-математическая модель, предназначенная для обоснования управленческих решений по освоению территорий усыхающих лесов. Для детального решения производственно-транспортных проблем, связанных с переработкой вырубаемой древесины, могут использоваться иные модели, взаимосвязанные с предлагаемой [3, 4]. Детальная методика проектирования транспортной сети с использованием средств ГИС и оптимизационных моделей изложена в [3].

Модель предназначена для обоснования перспектив развития лесного региона в интервале планирования 3–4 года\*. Рассматривается следующая ситуация. В регионе заготавливается древесина различных категорий качества (порода и товарность) в лесном фонде, состоящем из площадей спелого и неспелого леса, а также закупается и продается древесина различного качества за пределами региона. Спелый лес вырубается в объеме, не превышающем объем расчетной лесосеки. В технологию интенсивного (плантационного) лесовыращивания на площадях неспелого леса могут быть сделаны дополнительные инвестиции к существующим на начало планирования. Полагается, что инвестиции вкладываются в технологии лесовыращивания, обеспечивающие на этих площадях гарантированное повышение среднего прироста с момента начала реализации вложений, что позволяет выполнить корректировку расчетной лесосеки. Отдача инвестиций в интенсивное лесовыращивание дифференцирована по лесным площадям. Помимо интенсивного (плантационного) лесовыращивания в регионе ведется лесовосстановление по традиционным экстенсивным технологиям, не позволяющим выполнить немедленный перерасчет объема лесопользования. Затраты на лесовосстановление дифференцированы по типам этих вырубок.

За пределами региона возможны закупки древесины из числа партий леса с известной ценой, качеством и ограниченным\*\*объемом для обеспечения спроса, превышающего объем расчетной лесосеки.

Полагается известным перечень лесных площадей, где выполняется специализированная охрана и защита леса. При этом объем вырубаемого за

---

\*В современных условиях – это дальность до горизонта экономического планирования.

\*\*Речь идет о больших партиях леса. Полагается, что увеличение размера партии связано с вовлечением в рубку менее эффективных лесных площадей. Поэтому партию  $Y$  древесины можно купить по цене  $C$ , но партию  $Y_1 > Y$  можно купить по цене  $C_1 > C$ . В этой связи возможный объем каждой закупаемой партии обусловлен ее ценой и является ограниченным.

паса с охраняемой площади, ассоциируемой с  $i$ -м пунктом, описывается линейным уравнением вида

$$V = \begin{cases} V_0 + cW; \\ V \leq Q, \end{cases}$$

где  $V$  – вырубаемый запас;

$V_0$  – ожидаемый объем древесины, который может быть заготовлен без привлечения затрат на охрану и защиту леса;

$c$  – ожидаемый объем древесины, сохраняемый при выделении единицы затрат;

$W$  – затраты, выделяемые на охрану и защиту леса;

$Q$  – существующий ликвидный запас на рассматриваемой площади\*.

Совокупный вырубаемый лесной запас и ввозимый объем древесины потребляются в конечном множестве пунктов. Часть из них – это предприятия по его переработке и потреблению, остальные являются пунктами, через которые древесину экспортируют за пределы региона. Затраты перерабатывающих предприятий зависят от объемов переработки древесины и ее качества, а доходы определяются объемами переработки и договорными ценами на продукцию. Пункты потребления связаны с лесными площадями и пунктами ввоза древесины транспортной сетью, часть элементов которой построена, а часть задана избыточными связями, возможными к строительству. (На этом множестве существующих и возможных к строительству связей будет найден оптимальный план строительства и реконструкции дорог.) В транзитных пунктах сети возможна перегрузка древесины на иной вид транспорта, что сопряжено с затратами. Транспортная сеть требует затрат на содержание, ремонт, реконструкцию существующих и строительство новых элементов сети для обеспечения транспортной доступности вновь вовлекаемых в эксплуатацию лесных площадей.

Задан желаемый объем внутреннего и внешнего (на экспорт) потребления леса в регионе, дифференцированный по группам качества и который необходимо достичь в результате распределения инвестиций. Необходимо найти структуру и параметры лесозаготовительных производств региона, включая размещение, строительство и реконструкцию региональной транспортной сети и адекватное распределение инвестиций в элементы региональной структуры, обеспечивающее максимальную прибыль по рассматриваемому кругу лесозаготовительных производств за период планирования (ввоз, собственные заготовки древесины, охрана и защита леса, переработка и экспорт, внутрирегиональная транспортировка, содержание и реконструкция

---

\*Полагается, что без охраны и защиты с данной площади можно снять запас в размере лишь  $V_0$ , а при максимальном уровне охраны – не более существующего ликвидного запаса  $Q$ .

существующих и строительство новых дорог). Для формализации задачи введем следующие обозначения:

$I$  – список всевозможных пунктов на избыточной транспортной сети региона и список партий древесины, возможных для закупки за пределами региона;

$I_1 \in I$  – список пунктов сети, ассоциируемых с лесосеками главного и промежуточного пользования и транзитными пунктами;

$I_2 \in I$  – список пунктов потребления (включая экспорт древесины);

$I_3 \in I$  – список пунктов сети, ассоциируемых с площадями интенсивного (плантационного) лесовыращивания;

$I_4 \in I$  – список партий древесины, возможных к закупке за пределами региона; каждая партия этого списка характеризуется объемом, породой, товарностью и удельными затратами  $r_{ij}$  ( $i \in I_4, j \in J$ ) на закупку;

$I_5 \in I$  – список пунктов ввоза древесины в регион;

$I_6 \in I$  – список пунктов с охраняемыми лесными площадями;

$I_7 \in I$  – список пунктов сети, ассоциируемых с площадями традиционного лесовосстановления;

$J$  – список удельных затрат на закупку древесины, соответствующий закупаемым партиям;

$L$  – список рассматриваемых всевозможных транспортных связей избыточной транспортной сети региона;

$P$  – список категорий качества растущего леса (порода и товарность);

$[M_{il}]_p$  – матрица инцидентий графа связей избыточной транспортной сети ( $i \in I, l \in L; p \in P$ );

$V_{ip}$  – объем древесины  $p$ -й категории качества, сопоставляемый  $i$ -му пункту сети;

$r_{ip}$  – доходы (либо затраты) на обработку  $1 \text{ м}^3$  древесины, сопоставленного с  $i$ -м пунктом сети:  $i \in I_1$  – затраты на лесосечные работы либо затраты на перегрузку древесины на транзитном пункте;  $i \in I_2$  – доходы от обработки и продажи леса в конечном пункте сети;  $i \in I_4$  – затраты на закупку древесины из партий списка  $I_4$ ;

$a_l$  – суммарные удельные затраты на  $1 \text{ м}^3$  грузопотока древесины, перемещаемой по  $l$ -й ( $l \in L$ ) транспортной связи, включая, при необходимости, затраты на ее строительство или реконструкцию, содержание и собственно транспортировку;

$X_l$  – грузопоток по  $l$ -й транспортной связи ( $l \in L$ );

$z_{ip}$  – затраты на плантационное выращивание древесины  $p$ -го качества, сопоставленные  $i$ -му пункту ( $i \in I_3$ );

$e_i$  – затраты на традиционное лесовосстановление, сопоставленные единице площади  $i$ -го пункта ( $i \in I_7$ );

$S_i$  – площадь традиционного лесовосстановления, ассоциируемая с  $i$ -м пунктом ( $i \in I_7$ );

$q_i$  – запас ликвидной древесины, вырубаемый с единицы площади  $i$ -го пункта ( $i \in I_7$ );

$w_i$  – затраты на охрану и защиту леса, сопоставленные  $i$ -й площади ( $i \in I_6$ );

$V_{0i}$  – ожидаемый объем древесины на площадях, ассоциируемых с  $i$ -м пунктом, который может быть заготовлен без привлечения затрат на охрану и защиту леса;

$V_{ij\rho}$  – объем партии древесины  $\rho$ -й категории качества, купленной по  $j$ -й ( $j \in J$ ) цене за  $1 \text{ м}^3$  и ввозимой в регион через  $i$ -й пункт ( $i \in I_5$ );

$c_i$  – запас древесины на площадях, ассоциируемых с  $i$ -м пунктом ( $i \in I_6$ ), сохраняемый при выделении единицы затрат на охрану и защиту;

$b_{i\rho}$  – коэффициент трансформации денежных затрат, вложенных в интенсификацию выращивания древесины  $\rho$ -го качества на  $i$ -й площади ( $i \in I_3$ ), в дополнительно вовлекаемый в рубку запас спелого леса на новых площадях;

$D_{i\rho}$  – объем спроса в  $i$ -м пункте ( $i \in I_2$ ) на древесину  $\rho$ -й категории качества;

$Q_{i\rho}$  – предельный объем древесины  $\rho$ -й категории качества, возможный к рубке в пункте  $i \in I_1$ , или закупке из партии  $i \in I_4$ , или получаемый за счет интенсивного лесовыращивания  $i \in I_3$ ;

$\rho$  – категория качества леса;

$i$  – пункт;

$j$  – цена;

$l$  – транспортная связь.

Тогда существует модель REG3:

$$\max_{(V,Z,X)} \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{\rho \in P} r_{i\rho} V_{i\rho} - \sum_{i \in I} \sum_{\rho \in P} Z_{i\rho} - \sum_{i \in I} W_i - \sum_{i \in I} e_i S_i - \sum_{l \in L} a_l \sum_{\rho \in P} X_{l\rho} \right\}; \quad (1)$$

$$[M_{il}]_{\rho}[X_l]_{\rho} - [V_i]_{\rho} = [0]_{\rho}; \quad \forall \rho \in P, \forall l \in L, \forall i \in I_1; \quad (2)$$

$$[M_{il}]_{\rho}[X_l]_{\rho} + [V_i]_{\rho} = [0]_{\rho}; \quad \forall \rho \in P, \forall l \in L, \forall i \in I_2; \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_1 \cup I_3} V_{i\rho} - \sum_{i \in I_2} V_{i\rho} = 0; \quad \forall \rho \in P; \quad (4)$$

$$V_{i\rho} = D_{i\rho}; \quad \forall i \in I_2; \quad \forall \rho \in P; \quad (5)$$

$$V_{i\rho} \leq Q_{i\rho}; \quad \forall i \in I_1 \cup I_3 \cup I_4, \cup I_6, \forall \rho \in P; \quad (6)$$

$$\sum_{\rho \in P} V_{i\rho} - c_i W_i = V_{0i}; \quad \forall i \in I_6; \quad (7)$$

$$b_{i \in I_3, \rho} Z_{i \in I_3, \rho} - V_{i \in I_1, \rho} = 0; \quad \forall \rho \in P; \quad (8)$$

$$V_{i, \rho} - \sum_{j \in J} V_{ij\rho} = 0; \quad \forall i \in I_5; \quad \forall \rho \in P; \quad (9)$$

$$\sum_{\rho \in P} V_{i\rho} - q_i S_i = 0; \quad \forall i \in I_7; \quad (10)$$

$$X_l^{\min} \leq \sum_{\rho \in P} X_{l\rho} \leq X_l^{\max}; \forall l \in L_3; \quad (11)$$

$$V_{i\rho} \geq 0; \forall i \in I; \forall \rho \in P; \quad (12)$$

$$X_{l\rho} \geq 0; \forall l \in L; \forall \rho \in P; \quad (13)$$

$$Z_{i\rho} \geq 0; \forall i \in I; \forall \rho \in P. \quad (14)$$

Модель REG3 эффективно распределяет совокупные денежные потоки лесного комплекса по его элементам, обеспечивая максимальную прибыль за период планирования. Компоненты потоков: затраты на лесовыращивание в неспелых древостоях; на лесосечные работы в рамках промежуточного и главного пользования; на транспортировку и строительство необходимых транспортных связей; на обработку древесины на нижних складах и в конечных пунктах потребления; на охрану и защиту леса, закупку древесины вне региона и ее транспортировку по внутрирегиональной сети к потребителям.

Целевая функция (1) задачи максимизирует прибыль от продажи древесины на внешнем рынке и лесной продукции на внутреннем рынке. Ограничения (2) и (3) обеспечивают неразрывность и сложение грузопотоков в транспортной сети. Ограничение (4) определяет баланс заготовки, внешнего ввоза и потребления древесины в регионе, ограничение (5) – спрос в  $i$ -м пункте на древесину заданного качества. Ограничение (6) определяет, что с  $I$ -й ( $i \in I_1$ ) площади невозможно вырубить больше леса заданного качества, чем там имеется. Для площадей интенсивного лесовыращивания ( $i \in I_3$ ) ограничение устанавливает верхний предел достигаемого запаса в условиях  $i$ -й площади, для пунктов внешнего ввоза ( $i \in I_4$ ) – предельный объем закупаемой партии  $\rho$ -го качества, для площадей, подлежащих охране и защите ( $i \in I_6$ ), – верхнюю границу сохраняемого запаса. Ограничение (7) устанавливает связь между объемом средств, выделяемых на охрану и защиту леса в  $i$ -м пункте, и сохраняемым за счет этого лесным запасом. Ограничение (8) определяет, что на площадях интенсивного лесовыращивания образуется дополнительный лесной запас, пропорциональный вложенным средствам. Это ограничение совместно с ограничением (6) отображает линейными функциями логистическую кривую «затраты на лесовыращивание – объем дополнительно образующегося запаса». При наличии затрат на интенсивное лесовыращивание модель отражает ситуацию, когда достигается немедленное увеличение объема лесопользования за счет интенсификации лесовыращивания. Дополнительные затраты на лесовыращивание или импорт древесины возникают, когда исчерпаны экстенсивные пути увеличения объемов лесозаготовок. В частности, модель может быть использована для обоснования объемов плантационного лесовыращивания. Ограничение (9) определяет формирование потоков ввозимой в регион древесины из возможных к закупке партий. Ограничение (10) устанавливает связь между вырубаемым объемом древесины и площадью  $i$ -го пункта. Ограничение (11) определяет диапазон грузопотока древесины для  $l$ -й ( $l \in L_3$ ) транспортной связи. Ограничения (12)–(14) определяют неотрицательность переменных.

В ограничении (5) объем спроса, определяемый импортом и внутренним потреблением лесопродукции, полагается заданным. Это эмулирует ситуацию, когда регион или холдинг подстраиваются под требования внешнего рынка и внутренних обстоятельств. Но могут быть и иные случаи, например, когда руководство экономически сильного холдинга или региона, определяющих состояние рынка, стремится узнать экономически целесообразную структуру и параметры лесозаготовок в сложившихся обстоятельствах. Для решения этого вопроса достаточно изменить ограничение (5):

$$V_{ip} - D_{ip} = 0; \forall i \in I_2; \forall p \in P. \quad (5^*)$$

В этом случае будут найдены оптимальные в сложившихся внутриэкономических обстоятельствах параметры системы без учета требований внешнего рынка и внутреннего спроса. При этом достигается максимальная эффективность системы. В реальных условиях не приходится ожидать, что внешний и внутренний рынки будут подстраиваться под холдинг в соответствии со сложившейся обстановкой. Но руководству всегда полезно знать оптимальные параметры управляемой системы, заключать договоры на поставку и выполнять другие планово-управленческие функции в соответствии с этими параметрами либо, по возможности, приближаясь к ним.

В данной модели древесина усыхающих лесов может быть представлена как один из параметров, образующих множество  $P$ , содержащее категории качества леса.

Модель имеет среднюю либо большую размерность и в различных вариантах (REG1, REG2) используется в учебном процессе вузов. С примером можно ознакомиться в работе [3, с. 133–144]. Обеспечение модели данными представляет собой объемную информационную задачу, решаемую с привлечением всех возможных источников, включая материалы спутникового мониторинга территории.

#### *Выводы*

Разработан инструмент для обоснования планово-проектных решений освоения усыхающих лесов Архангельской области, учитывающих производственные, экономические и лесоводственные реалии проблемы.

Принятие решений существенным образом базируется на математических методах обоснования решений, использовании ГИС и спутниковой информации, организованной в базы картографических и иных данных, служащих исходной информационной основой для математических моделей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешко Р.А., Гурьев А.Т., Тархов С.В. Программа автоматизированного определения основных таксационных показателей Европейского Севера по данным спутниковых снимков. № 2009614299; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 19.06.2009 г.

2. Варфоломеев Ю.Ф., Гурьев А.Т., Алешко Р.А. Методические и технические аспекты космического мониторинга биоповреждений и усыхания еловых лесов / Лесн. журн. 2010. № 5. С. 149–156. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Гладков Е.Г. Моделирование технологических процессов: моделирование территориальной динамики лесопромышленных предприятий: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2010. 148 с.

4. Гладков Е.Г. Территориальная динамика лесозаготовок: моделирование и оптимизация эффективного развития лесозаготовок в современных экономических условиях. СПб.: СПбГУ, 2006. 187 с.

Поступила 18.02.11

*E.G. Gladkov<sup>1</sup>, O.G. Plekhov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

#### **Drying Forests: a Model of Regional Forest Management**

The paper presents an economic and mathematical model of feasibility study of regional projects on drying forests development in the Arkhangelsk Region. The model substantiates distribution of investments within the regional structure allowing the highest possible profits within the timber production spheres under consideration for the planning period.

*Key words:* drying forests, regional forest management, mathematical model, timber transportation network, feasibility study.



УДК 630\*377

*А.М. Кочнев<sup>1</sup>, А.Н. Юшков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

<sup>2</sup>Сыктывкарский лесной институт – филиал С.-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова

Кочнев Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, чл.-корр. РАЕН, академик МАН ВШ, почетный машиностроитель. Имеет более 110 печатных работ в области исследования и повышения технического уровня и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.  
E-mail: 777tcm@mail.ru



Юшков Александр Николаевич родился в 1966 г., окончил в 1993 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, декан лесотранспортного факультета Сыктывкарского лесного института. Имеет более 20 печатных работ в области исследования эффективности лесозаготовительных машин.  
E-mail: ltf2@mail.ru



## МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКОВ ЛЕСОСЕКИ

Разработана методология выбора трасс трелевочных волоков лесосеки, являющаяся базисом для развития теории эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов, в основу которой положена оптимизация эффективности установления соответствия рейсовой нагрузки, энергонасыщенности трактора и свойств волока.

*Ключевые слова:* лесосека, трелевочный волок, трелевочный трактор.

В современном представлении под методологией понимают научно обоснованную структуру, логическую организацию, методы и средства выполнения всего комплекса работ [1]. В лесоводственных требованиях к технологическим процессам сплошных рубок при использовании многооперационных машин отмечается, что технологический процесс лесозаготовительного производства включает три взаимосвязанных и взаимозависимых элемента – технику, технологию и организацию. Размер современной лесосеки может достигать значительных размеров, до 200 га (1000 × 2000 м). Расстояние между пасечными волоками (ширина пасек) должна быть не менее 1,5 высоты древостоя при рубках как главного, так и промежуточного пользования. Ширина магистральных волоков на прямолинейных участках трассы не должна превышать 5 м, пасечных волоков – 4 м с учетом уборки отдельных деревьев.

В технологической карте освоения лесосеки указывают технику и технологию рубок, нормативы по сохранению среды, технико-экономические нормативы и т.д. В каждом лесничестве в древостоях наиболее распространенных типов леса закладывают пробные площадки, размер которых составляет 3 % от площади лесосеки. Закладка пробных площадок должна быть не менее пяти по площади или диагонали. Эти пробные площадки отражают особенности опорной поверхности движения лесосечных машин. На лесосеке размером 200 га ликвидный запас древесины может составлять до 60 тыс. м<sup>3</sup>. При средней рейсовой нагрузке 6 м<sup>3</sup> на трактор ТКЛ-4-01 необходимо выполнить около 10 тыс. рейсов. Следовательно, важно иметь методику, применение которой повысит эксплуатационную эффективность работы трелевочных тракторов. В зависимости от технологии работ на указанной выше площади можно наметить несколько сотен трасс волоков, но при более рациональном подходе, когда будет достигаться максимальная эксплуатационная эффективность работы тракторов, количество волоков может быть снижено до 150. Для разработки такой методологии только технологической карты лесосеки недостаточно.

Организация лесосечных работ на лесозаготовительных предприятиях РФ отстает от современных достижений, применяемых в смежных отраслях на основе современных методов и измерительных средств. За последние десятилетия резко вырос уровень механизации труда и операций, на некоторых он достиг 100 %, но прогресса в организации лесосечных работ на научной основе практически не наблюдается. Схема транспортного освоения лесосеки, включая трассирование трелевочных волоков, составляется интуитивно. Аналогичная ситуация наблюдается и при использовании лесохозяйственных машин и тракторных агрегатов.

В работе [4] доказано, что без научного, а главное, без современного приборного обеспечения выбора оптимальных трасс движения машин по лесосеке достичь эффективности их использования невозможно. В настоящее время для определения маршрута движения мобильных систем используют навигацию. В энциклопедическом представлении навигация – наука о способах и методах вождения судов, летательных аппаратов и т.д. Задача навигации – нахождение оптимального маршрута (траектории), определение местоположения и значений скорости и др. параметров движения объекта [9]. Предлагается создавать карты лесосек, аналогичные навигационным, в которых должны отражаться почвенно-грунтовые, рельефные и другие свойства опорной поверхности, определяющие режимы работы машин.

В первых изданиях учебников по тяговым машинам [7] и в более поздних работах [2] тяговый баланс лесотранспортных машин, движущихся равномерно со скоростью менее 25 км/ч, записывается как

$$P_k = P_f \pm P_i + P_{кр}, \quad (1)$$

где  $P_k$  – касательная сила тяги;

$P_f$  – сила сопротивления качению,

$$P_f = fG; \quad (2)$$

$f$  – коэффициент сопротивления качению;  
 $G$  – вес машины, включая приходящуюся на нее полезную нагрузку;  
 $P_i$  – сила сопротивления подъему;  
 $P_{кр}$  – крюковая сила тяги.

Модели (1) и (2) приняты из теории автомобилей общего назначения, в движении которых доминирует прямолинейное. С нашей точки зрения, они некорректны для трелевочных машин. При трелевке пачки древесины трелевочный трактор может до 70 % времени движения находиться в режиме поворота с разными радиусами кривизны [5, 8], при этом на его движение оказывает существенное воздействие сила сопротивления от поворота. Это сопротивление может значительно превосходить  $P_f$ , но в формулах тягового баланса это серьезное упущение не учитывается.

Для ликвидации этого упущения в данной работе предлагается ввести коэффициент сопротивления движению:

$$f_d = f + f_n + f_c, \quad (3)$$

где  $f_n$  – коэффициент сопротивления повороту;

$f_c$  – коэффициент сопротивления скольжению древесины по почвогрунту лесосеки.

Коэффициент сопротивления  $f_n$  и сила сопротивления от поворота могут быть измерены, зарегистрированы и математически обработаны с помощью мобильного измерительного комплекса [3].

Коэффициент сопротивления дороги (волока)

$$\Psi = f_d \pm i, \quad (4)$$

где  $i$  – подъем, %.

При изучении рабочих режимов и эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов обычно проводят исследовательские испытания с измерением касательной силы тяги и др. показателей, по которым определяются коэффициент  $f_d$  и др. Заводы лесного тракторостроения имеют испытательные станции с лесными волоками – полигонами с типичными почвенно-грунтовыми и рельефными свойствами для конкретного режима. Испытания тракторов на полигоне (волоке) позволяют исследовать составляющие коэффициента  $f_d$  и влияние на его значение пачки древесины, скорости движения трактора и т.д.

В монографиях [5, 8] приведены коэффициенты  $f_d$  и  $\Psi$ , полученные по результатам исследовательских испытаний различных трелевочных тракторов в производственных и полигонных условиях. Эти данные с определенной относительной погрешностью позволяют прогнозировать значения коэффициентов для практической работы. Например, рост массы гусеничного трелевочного трактора от 9 000 до 12 000 кг в полигонных условиях практически не приводил к изменению коэффициента  $f_d$ , а при росте до 15 500 кг коэффициент увеличился на 3,1 %. Повышение скорости движения гусеничного трактора от 2,5 до 9,5 км/ч увеличивало  $f_d$  только на 2,0 ... 4,0 %. При грузовом ходе коэффициент  $f_d$  может быть как больше, так и меньше, чем при холостом ходе. В работе [5] отмечено, что чем выше энергонасыщенность трелевочного трактора, тем меньше

рейсовая нагрузка влияет на  $f_d$  [5]. Это, видимо, объясняется тем, что часть пачки древесины, размещенная на машине, увеличивает ее вес на 15 ... 17 %. Значения коэффициента сопротивления скольжению  $f_c$  для различных почвенно-грунтовых условий приведены из монографии [7]. Следует отметить, что погрешность при выборе значения  $f_c$  слабо влияет на  $f_d$ . Для подавляющего большинства лесопромышленных регионов  $f_c = 0,40 \pm 0,05$ . Принимая верхний или нижний предел  $f_c$  для трактора ТКЛ-4-01, получаем изменение коэффициента  $f_d$  на  $\pm 1,1\%$ .

При разработке методологии выбора трелевочных волоков лесосеки учитывают особенности функционирования трелевочного трактора и его динамические свойства. Специфика возмущения колебаний крутящего момента в трансмиссии трелевочного трактора от микронеровностей волока, изменений физико-механических свойств почвогрунта, единичных препятствий может создать некоторую нестационарность в установившемся режиме. Следует отметить, что в реальных процессах, протекающих в мобильных механических системах, всегда имеют место некоторые нестационарности. Е.С. Вентцель [6] считает, что если случайный процесс нестационарен только за счет переменного математического ожидания, то это не мешает изучать его как стационарный процесс. Система «двигатель – гидромеханическая трансмиссия – движитель» имеет нелинейный элемент – гидромуфту. При исследовании различных тракторов на динамических схемах эти нелинейности имитируются муфтой, участок системы от ведущего колеса до турбинного колеса моделируется как линейная система. Следует отметить, что система «двигатель – трансмиссия – движитель» имеет существенную нелинейность – двигатель, но при составлении динамических схем на основе частотного анализа эти нелинейности «вырезаются» из схемы [5]. Линейные системы обладают свойством суперпозиции, которое заключается в том, что реакция системы на сумму нескольких воздействий равна сумме реакций на каждое отдельное воздействие [6]. Для определения режимов работы трактора необходимо измерять, регистрировать и прогнозировать ряд показателей и процессов. Коэффициент сопротивления движению машины или трелевочной системы формируется от деформации почвогрунта и шины, микронеровностей поверхности и дополнительного сопротивления на движитель при повороте. Результаты длительных исследовательских испытаний лесопромышленных тракторов, обобщенные в монографиях [5, 8], показывают, что распределение коэффициента сопротивления качению подчиняется нормальному закону, и это естественно. Все факторы, влияющие на коэффициенты сопротивления, можно представить как сумму сравнительно малых слагаемых, каждый из которых вызывается действием отдельных причин. В теории вероятности [6] доказано, что, каким бы законам распределения не подчинялись отдельные элементарные составляющие, особенности этих факторов или сопротивлений в сумме большого числа слагаемых нивелируются, и сумма оказывается подчиненной нормальному закону распределения или близка к нему.

Достоверность результатов экспериментальных исследований, их прогнозирование, составление аналогий и т.д. во многом определяются точностью или погрешностью измерений. При исследовательских испытаниях лесосечных машин с применением современных измерительных приборов допускается максимальная суммарная относительная погрешность измерений до 7...8 %. В научных исследованиях функционирования лесосечных машин в лесозаготовительном производстве с применением простых измерительных средств допускается максимальная суммарная относительная погрешность измерения до 15 % [3]. Для получения информации о свойствах трасс трелевочных волоков, воздействующих на рабочие режимы и эксплуатационную эффективность трелевочного трактора, электроизмерительное оборудование и бортовой компьютер мобильного измерительного комплекса должны измерять, регистрировать и математически обрабатывать следующие данные: крутящий момент, приходящий на ведущие колеса машины; частоты вращения коленчатого вала двигателя и турбинного колеса гидротрансформатора; радиус поворота трассы волоков; показатели поворота трелевочного трактора; потери от буксования и др.

Мобильный измерительный комплекс с измерением и регистрацией процессов и показателей проходит по всем возможным трассам лесосеки. При этом бортовой компьютер определяет наиболее рациональные трассы, трелевка древесины по которым позволит получить максимальную эксплуатационную эффективность работы трелевочного трактора. Если технология лесозаготовок и состояние лесосеки не позволяют пройти мобильному измерительному комплексу, то целесообразно лесосеку разрабатывать постепенно, разделив ее на части, для каждой из которых закладывается пробная площадь с характерными почвенно-грунтовыми и рельефными свойствами. Мобильный измерительный комплекс измеряет и регистрирует процессы необходимого числа трасс с определением показателей, характеризующих эксплуатационную эффективность работы трелевочного трактора. Макетный образец электроизмерительного комплекса с бортовым компьютером разработан и длительное время применяется при исследовательских испытаниях колесных трелевочных тракторов Онежского тракторного завода (г. Петрозаводск) [3].

Предложенная методология является базисом для развития теории эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов, в основу которой положена оптимизация эффективности установления соответствия рейсовой нагрузки, энергонасыщенности трактора и свойств волока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г.М., Большаков Б.М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами. СПб.: Изд-во ЛТА, 1998. 108 с.
2. Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Лесотранспортные машины. СПб.: Лань, 2009. 448 с.
3. Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Основы научных исследований (с основами моделирования). СПб.: СПбГЛТА, 2006. 492 с.

4. *Анисимов Г.М.* Учебно-методическая и научная деятельность кафедры лесных гусеничных и колесных машин. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2011. 206 с.
5. *Анисимов Г.М.* Эксплуатационная эффективность трелевочных тракторов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 208 с.
6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 576 с.
7. *Зайчик М.И., Гольдберг А.М., Ерахтин Д.Д.* Тяговые машины и подвижной состав лесовозных дорог. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 712 с.
8. *Кочнев А.М.* Рабочие режимы отечественных колесных трелевочных тракторов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 520 с.
9. Советский энциклопедический словарь. Изд. 4-е. М.: Сов. энцикл., 1989. 1600 с.

Поступила 13.03.12

*A.M. Kochnev<sup>1</sup>, A. N. Yushkov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

<sup>2</sup>Syktuykar Forest Institute (Branch) of St. Petersburg State Forest Technical University

#### **The Selection Methodology of Cutting Area Skidding Trails**

The selection methodology of cutting area skidding trails has been worked out. This methodology forms the basis for the theory of operational efficiency of skidders. Efficiency optimization of determining the scheduled load, skidder power ratio and characteristics of skidding trails are taken as a basis of the methodology under consideration.

*Key words:* cutting area, skidding trail, tracked skidder.

---

УДК 630\*323

**А.Н. Заикин**

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Заикин Анатолий Николаевич родился в 1949 г., окончил в 1975 г. Брянский технологический институт, доктор технических наук, и.о. заведующего кафедрой оборудования лесного комплекса Брянской государственной инженерно-технологической академии, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет около 200 печатных работ в области совершенствования техники и технологии лесозаготовок.  
E-mail: Zaikin.Anatolij@yandex.ru



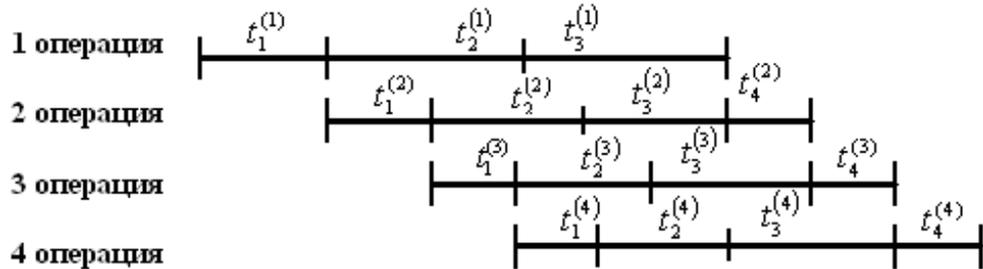
## **ТИПЫ И НАЗНАЧЕНИЕ ЗАПАСОВ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ ЛЕСОЗАГОТОВОК**

Рассмотрены особенности лесозаготовительного производства, показана необходимость создания и проведено уточнение названия отдельных видов запасов. Установлено, что межоперационные запасы в технологическом процессе лесосечных работ многоуровневые, оперативные, технически и технологически перемещаемые, их жизненный цикл состоит из трех фаз (создание запасов, их потребление и пополнение, выработка). Разработаны математические и имитационные модели для расчета режимов работы лесосечных машин, обеспечивающих объем выработки комплекта машин, равный объему выработки его ведущей машины.

*Ключевые слова:* лесозаготовительный процесс, лесосечные работы, типы запасов, межоперационные, оперативные запасы, комплекты машин.

Лесозаготовительное производство – сложная многооперационная система, в которой все операции, осуществляемые на лесосеке, выполняются в условиях непосредственного воздействия комплекса природно-климатических факторов на рабочих и технику. Кроме воздействия природных факторов, на неравномерность лесозаготовительного производства большое влияние оказывают рассредоточенность технологических операций на большой территории, с одной стороны, и неодновременность начала и окончания работы лесосечных машин и оборудования, с другой. Неодновременность начала и окончания работы обуславливает создание запасов предыдущими машинами до начала их работы на следующей операции и выработки запасов машинами следующих операций после перебазировки предыдущих на новую лесосеку (см. рисунок).

Создание запасов сырья промежуточной и конечной продукции – нежелательная, вынужденная и, в то же время, необходимая мера: запасы вызывают дополнительные расходы на перегрузку, устройство складов и буферных устройств, хранение и т.д.; вынужденная, так как отсутствие запасов



Последовательность перебазировки, начала и окончания работы машин на смежных операциях лесосечных работ:  $t_1^{(i)}$  – время для создания запасов машинами предыдущей операции до начала работы машин на следующей операции;  $t_2^{(i)}$  – время совместной работы машин на предыдущей и следующей операциях до подключения дополнительных машин;  $t_3^{(i)}$  – время совместной работы машин на предыдущей и следующей операциях после подключения дополнительных машин (продолжительность работы дополнительных машин);  $t_4^{(i)}$  – время для выработки запасов машинами следующей операции после перебазировки машин с предыдущей операции на новую лесосеку

в отдельных случаях приводит к нарушению 50-метровой зоны безопасности на лесосечных работах. При неравномерной выработке оборудования на смежных операциях или остановках машин на одной операции отсутствие запасов вызывает простои машин на другой операции, что в итоге приводит к большому материальному ущербу.

Для поиска таких объемов запасов, при которых затраты на их создание в сумме с потерями от их недостатка минимальны, разработана теория управления запасами. На основе этой теории можно составить математические модели для типичных технологических процессов по нахождению оптимальных размеров запасов.

Цель данной работы – определение места, назначения, технологических составляющих, жизненного цикла запасов, характера изменения их во времени и пространстве для разработки математических моделей, позволяющих определять достоверные объемы запасов и режимы рационального управления ими, что обеспечивало бы максимальный объем выработки комплекта лесосечных машин в конкретных производственных условиях.

Для эффективной работы машин нахождение оптимальных запасов, как правило, условие обязательное, но недостаточное. Для организации полноценного производства чрезвычайно важны: управление запасами лесоматериалов; знание режимов работы машин, обеспечивающих рациональное управление процессами создания, пополнения, потребления и выработки этих запасов.

Расчет достоверных объемов запасов и режимов рационального управления ими, обеспечивающих максимальный объем выработки комплекта лесосечных машин в конкретных производственных условиях, невозможен без

определения места, назначения и характера времени создания и потребления запасов. С учетом производственных и литературных исследований нами сделана попытка систематизировать понятие «запасы древесины в производственном процессе лесозаготовок».

Все запасы в лесозаготовительном производстве рекомендуется разделить на запасы объектов труда (ОТ) в производственном процессе – межоперационные запасы (дерева, хлысты, сортименты, пиломатериалы, заготовки и др.); запасы конечной продукции (сортименты, пиломатериалы, заготовки, щепы и т.п.); запасы эксплуатационных материалов и запасных частей к машинам и оборудованию.

По характеру, времени создания и потребления межоперационные запасы предлагается подразделять на активные (оперативные) и пассивные (резервные).

По назначению различают сезонные, резервные, межоперационные, технологические, буферные, гарантийные, неснижаемые запасы [1–5, 10–17]. Резервные и буферные запасы в известном смысле сходны по существу, т.е. они являются страховыми на случай несоответствия спроса и предложения при пиковых проявлениях спроса или остановках машин на отдельных технологических операциях по погодно-климатическим, организационно-технологическим или иным причинам. Межоперационные или буферные запасы создаются на стыках между смежными технологическими операциями. Наличие неоправданно большого ассортимента запасов ведет к дроблению аддитивных по сути запасов материалов одинакового назначения и удлинению сроков хранения заготовленных лесоматериалов, что в свою очередь ведет к «замораживанию» оборотных средств, снижению качества лесоматериалов, производительности труда рабочих и выработки механизмов, занятых на обслуживании запасов [9].

В работе [9] отмечается, что запасы лесоматериалов играют роль своеобразного буфера, сглаживающего неравномерность выполнения смежных технологических операций. Динамика изменения производительности этих операций часто значительно отличается по интенсивности и характеру; одна из них может увеличиваться при снижении другой. Особенно это характерно для стыков фаз: лесосечные работы – вывозка, вывозка – нижнескладские работы. Различная динамика технологических процессов на смежных фазах и операциях определяет необходимость ее учета при решении задач управления запасами лесоматериалов. Очевидно, запасы создаются между смежными операциями, т.е. все они межоперационные. Под запасами лесоматериалов будем понимать единоуправляемый в рамках производственного процесса объем древесины с определенными размерно-качественными характеристиками, готовый к использованию по определенному назначению. Свойства запасов – соответствие предъявляемым требованиям и возможность их оперативного использования по назначению (ликвидность) – являются обязательными для того, чтобы объем древесины стал полноценным запасом.

Как показали проведенные нами исследования [7], оперативные запасы между смежными операциями лесосечных работ создаются в начале, попол-

няются и потребляются в течение всего периода и вырабатываются в конце разработки каждой лесосеки. Их обновление происходит постоянно.

**Классификация запасов лесоматериалов**

№ п/п	Признак	Группа		
1	Вид лесоматериалов	Запасы деревьев		
2		« хлыстов		
3		« круглых лесоматериалов (сортиментов)		
4		« пиленых лесоматериалов		
5		« технологической и топливной щепы		
6		« древесных отходов		
7	Место расположения запасов, характер и способ их перемещения	На лесосеке	Перемещаемые	Технологически и технически
8		На верхних складах		
9		На нижних складах	Неперемещаемые и перемещаемые	Технически
10		На буферных и промежуточных складах		
11		Межцеховые		
12	Внутрицеховые			
13	Периодичность создания и использования запасов	Постоянного пользования – оперативные		Активные
14		Сериодического пользования (страховые)		Пассивные
15		Сезонного пользования (сезонные)		
16	Назначение запасов	Технологические	Страховые	Гарантийные
17		Технические		
18		Организационный		
19		Товарные (готовая продукция)		
20	Характер потоков лесоматериалов	Дискретные		
21		Непрерывные		
22		Комбинированные		

Оперативные бмежоперационные запасы в транспортно-технологических потоках различаются по назначению и месту нахождения. Рассматривая причинно-следственную связь создания оперативных запасов, можно заметить их многоуровневый характер: состоят из технологических и технических, а также из организационных объемов. Технологический и технический объемы составляют уровень страховых запасов. Страховой и организационный объемы составляют гарантийный уровень запасов (см. таблицу).

В технологическом процессе лесосечных работ запасы, во-первых, создаются предыдущими машинами до начала их работы на следующей операции и должны иметь объем, обеспечивающий 50-метровую зону безопасности между операциями валки и трелевки и 30-метровую между операциями трелевки и обрезки сучьев, обрезки сучьев и погрузки (технологическая причина, вызывающая необходимость создания такого типа запасов, определяет их название – технологические); во-вторых, любые технические средства, в том числе лесосечные машины и оборудование, недостаточно надежны в ра-

боте, требуют технических уходов, т.е. каждая машина имеет свой коэффициент технического использования [7]. Наиболее невыгодная для пары смежных операций ситуация, когда после достижения объемов запасов определенного уровня машины на одной из них выходят из строя. В подобной ситуации может наступить или дефицит запаса объектов, или площадей для запасов.

Дефицит запасов наступает в то время, когда выйдут из строя машины на предыдущей операции, а их объем будет находиться на минимальном уровне. Для обеспечения работы машин на следующей операции, с одной стороны, необходимо, чтобы на время простоя предыдущих машин в запасе находился определенный объем древесины, с другой – если площади под запасами ограничены и заняты ими, то при остановке машин на следующей операции предыдущие будут вынуждены простаивать из-за отсутствия места для складирования их продукции. В этом случае для обеспечения работой машин на предыдущей операции необходимо иметь резерв площадей, обеспечивающих укладку их продукции в запас в течение времени простоя машин на следующей операции (для лесосечных работ не характерно). Техническая причина, вызывающая необходимость создания такого типа запасов, определяет их название – технические.

Запасы объектов труда в обоих случаях предупреждают (страхуют) простои машин на следующей операции, когда машины на предыдущей операции простаивают. Поскольку эти запасы только предупреждают (страхуют) бесперебойную работу машин, то правомерно называть их страховыми. После создания объема страховых запасов предыдущими машинами начинают работать машины на следующей операции. Тогда запасы или начнут расти, если объем выработки машин на предыдущей операции больше, чем на следующей ( $Q_i > Q_s$ ), или снижаться, если объем выработки машин на предыдущей операции меньше, чем на следующей ( $Q_i < Q_s$ ).

Следовательно, в первом случае ( $Q_i > Q_s$ ) необходимо ограничивать уровень запасов после достижения им какой-то определенной величины, а во втором ( $Q_i < Q_s$ ) необходимо создавать определенный для конкретных условий уровень запасов, прежде чем начинать работу машин на следующей операции. Поскольку уровень этих запасов будет зависеть от организации выполнения работ, он может быть назван организационным. В связи с тем, что эти запасы постоянно (оперативно) пополняются и потребляются, целесообразно называть их оперативными. Объем этих запасов дополняет страховой до объема, гарантирующего бесперебойную работу машин. Поскольку эти запасы гарантируют бесперебойную работу машин, то условимся называть их гарантийными. Отсюда также следует, что межоперационные запасы – многоуровневые, имеют для конкретных условий определенную величину гарантийных запасов.

Признак одновременности процессов создания и потребления запасов и периодичность их создания и использования, на наш взгляд, понятия созвучные. Целесообразно между операциями смежных фаз оставить наиболее употребляемое название – сезонные (сезонного пользования), а не резервные, так

как резерв – запас, а между операциями лесосечных работ – оперативные, способные быстро и вовремя исправить или направить ход дел. Для этих целей и предназначены запасы между операциями внутри отдельной фазы технологического процесса.

Название «активный» (деятельный, энергичный или действующий, развивающийся) соответствует действительности, так как оперативные запасы – действующие, поддерживаются на определенном для конкретных условий уровне. Название «пассивный» – не проявляющий деятельности, безучастный, безразличный к окружающей жизни или зависимый, лишенный самостоятельности. Этому термину больше отвечают страховые и сезонные запасы. Последние создаются для обеспечения планомерной и бесперебойной работы операций на лесосеках и нижних складах из-за перерыва в вывозке леса (на 10...15 дн.) по некоторым типам лесовозных дорог (грунтовых, гравийных) и дорог общего пользования по причине значительных и сравнительно продолжительных нарушений их водно-теплового режима.

Для запасов лесоматериалов целесообразно отметить их жизненный цикл. В случае пассивных запасов (страховых и сезонных) процессы их создания и потребления (выработки) разнесены во времени: запас сначала создается, затем расходуется. Интенсивность процесса создания запаса не зависит от интенсивности процесса потребления; она определяется конечным размером создаваемого запаса и временем, затраченным на его создание.

Жизненный цикл этих запасов включает три фазы: создание запасов лесоматериалов, их хранение и потребление (выработка).

Процессы создания, потребления и пополнения, а также выработки оперативных запасов на лесосеке разнесены во времени: запасы сначала создаются, затем потребляются и пополняются, а потом расходуются (вырабатываются). Интенсивность процесса создания запаса не зависит от процесса потребления, а интенсивность выработки – от процесса создания запаса. Процессы потребления и пополнения запаса характеризуются одновременностью их протекания. Срок хранения запасов по сравнению с резервными – незначительный, составляет всего 1...3 дн. в начале разработки лесосеки. В дальнейшем, после начала работы машин на следующей операции, запасы постоянно обновляются. В связи с этим жизненный цикл оперативных запасов лесоматериалов в производственном процессе лесосечных работ включает также три фазы: создание запасов лесоматериалов, их потребление и пополнение, выработка.

В обрабатывающих транспортных системах заготовки и обработки древесины, к которым относятся и лесосечные работы, машины перемещают емкости с предметами труда. В работах [17, 18] они рассматриваются как перемещаемый запас, накапливаемый и потребляемый в координатах не только времени, но и пространства. Здесь же предлагается, в соответствии с изменяющимися в процессе накопления и потребления запаса, классифицировать их на перемещаемые, накапливаемые и потребляемые в координатах времени, и перемещаемые, дополнительно определяемые расстоянием перемещения.

Рассматривая оперативные запасы между операциями лесосечных работ, мы установили, что они создаются в начале, а вырабатываются в конце территории лесосеки (по мере разработки лесосеки перемещаются от ее начала к концу), т.е. они перемещаемые: создаются и потребляются в координатах времени и пространства. В связи с тем, что машины и оборудование непосредственно в их перемещении не участвуют, запасы можно рассматривать как технологически перемещаемые. Тогда предметы труда, перемещаемые на машинах, можно рассматривать как технически перемещаемые запасы.

Исследование технологических процессов нижнескладских работ и цехов по переработке древесины показало, что запасы, как правило, или не перемещаются (находятся на определенном, ограниченном по площади месте) или перемещаются различными транспортными средствами. Следовательно, по этому признаку предлагается классифицировать запасы на неперемещаемые, перемещаемые; технологически перемещаемые, технически перемещаемые.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что межоперационные запасы в технологическом процессе лесосечных работ многоуровневые, оперативные, технически и технологически перемещаемые, их жизненный цикл состоит из трех фаз: создание запасов, их потребление и пополнение, выработка. На основании этого заключения нами предложена методика расчета режимов и организации работы комплекта лесосечных машин, обеспечивающая объем его выработки, равный объему выработки ведущей машины, снижение продолжительности разработки лесосеки и вредного воздействия машин на лесные экосистемы. Разработаны математические [7, 8] и реализованные на ЭВМ имитационные [6, 9] модели, которые прошли промышленную апробацию и используются в учебном процессе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алябьев В.И., Никитин В.В.* Расчетные модели для межоперационных запасов на вывозке леса // Автоматизация и комплексная механизация производственных процессов лесопромышленных предприятий: сб. науч. тр. МЛТИ. Вып. 157. М., 1984. С. 62–65.
2. *Алябьев В.И.* Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 232 с.
3. *Багаев Н.Г., Гончаренко Н.Т.* Технологические запасы в лесной промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 200 с.
4. *Багаев Н.Г., Мизев М.А.* Межоперационные запасы сырья в леспромхозах. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 88 с.
5. *Гончаренко Н.Т., Померанцев М.М.* Об оптимальных запасах хлыстов и деревьев на лесосеках // Оптимизация технологических процессов и процессов лесоскладских машин: тр. ЦНИИМЭ. Химки, 1977. С. 102–106.
6. *Заикин А.Н., Изюмова Е.Г., Евельсон Л.И.* МППлес // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618265. Правообладатель БГИТА. Заявка № 20116116285, 19 октября 2011. М., 2011. 30 с.

7. *Заикин А.Н.* Математическое моделирование режимов работы лесосечных машин и анализ изменения объемов оперативных запасов // Вест. МГУЛ – Лесн. вест. 2010. № 1. С. 69–75.
8. *Заикин А.Н.* Модели расчета режимов работы лесосечных машин // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 71–77. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Заикин А.Н., Памфилов Е.А., Изюмова Е.Г.* Автоматизация расчета режимов работы комплектов машин // Вест. БГТУ. 2009. № 1. С. 69–74.
10. *Залегаллер Б.Г.* Оптимизация технологических процессов нижних складов: курс лекций. Ч. 1. Л.: РИО ЛТА, 1985. 132 с.
11. *Климушев Н.К.* Управление запасами лесоматериалов: монография. М.: МГУЛ, 2005. 187 с.
12. *Лебедев Ю.В.* Исследование входящих грузовых потоков автомобилей на нижние склады леспромхозов // Лесн. журн. 1973. № 6. С. 127–132. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Никитин В.А.* Опыт работы по созданию запасов хлыстов на нижних складах лесозаготовительных предприятий Свердловска. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 35 с.
14. *Редькин А.К., Якимович С.Б.* Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов лесозаготовок: учеб. для вузов. М.: МГУЛ, 2005. 504 с.
15. Руководство по управлению запасами хлыстов на лесозаготовках. Химки: ЦНИИМЭ, 1987. 34 с.
16. *Турлай И.В., Ковалев Н.Ф.* Определение оптимальных размеров буферных запасов. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1974. 24 с.
17. *Якимович С.Б., Тетерина М.А.* Классификация обрабатывающих транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины // Вест. МГУЛ – Лесн. вест. 2009. № 2. С. 67–73.
18. *Якимович С.Б., Тетерина М.А.* Метод оптимизации мобильных транспортно-обрабатывающих лесопромышленных систем на основе факторов перемещаемых запасов // Леса России в XXI веке: материалы третьей междунар. науч.-практ. интернет-конф. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 288–291.

Поступила 15.09.10

***A.N. Zaikin***

Bryansk State Engineering and Technological Academy

### **The Types and Purpose of Timber Stocks in the Process of Timber Production**

The article deals with the features of timber production and proves the necessity of stocks. It also provides improved definitions of certain stock types. It has been established that decoupling stocks in the process of logging operations are multi-level, efficient, technically and technologically relocatable; their life cycle consists of three phases (stock making, consumption, replenishment, and production). This allowed us to develop mathematical and imitation models for calculation of working modes of harvesting machines providing the output volume of a machine set equal to the output volume of its leading machine.

*Key words:* timber harvesting, logging operations, stock types, decoupling stocks, operational stocks, machine sets.

УДК 625.711.84:69

**В.И. Жабин<sup>1</sup>, М.А. Мельницкий<sup>1</sup>, О.В. Герасимов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Дорожное агентство «Архангельскавтодор»

Жабин Вячеслав Иванович родился в 1940 г., окончил в 1968 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного транспорта Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 печатных работ в области совершенствования сухопутного транспорта леса.

E-mail: v.zhabin@narfu.ru



Мельницкий Максим Андреевич родился в 1987 г., окончил в 2012 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры промышленного транспорта САФУ.

E-mail: maksim.melnitskij@yandex.ru



Герасимов Олег Валерьевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, руководитель Центра управления движением ГКУ Архангельской области «Дорожное агентство «Архангельскавтодор».

E-mail: olger@ador.ru



## **ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕГРАВИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОДОРОГ**

Приведены результаты обследования опытного строительства участка дороги с нефтегравийным покрытием, проведена статистико-математическая обработка результатов обследования с определением эмпирических параметров взаимозависимости прочности и ровности.

*Ключевые слова:* нефтегравийное покрытие, прочность, ровность покрытия.

В лесозаготовительном процессе строительство лесовозных дорог имеет особое значение. Для обеспечения промышленных мощностей лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий требуется постоянное воспроизводство старых и строительство новых участков лесовозных дорог, которые прокладываются во все более удаленные лесные массивы.

Недостаточное финансирование работ по строительству, содержанию и ремонту автомобильных дорог приводит к применению в их конструкциях низкокачественных дорожно-строительных материалов, что снижает срок службы дорожной одежды. Поэтому использование современных материалов,

---

©Жабин В.И., Мельницкий М.А., Герасимов О.В., 2013

которые могли бы увеличить межремонтные сроки службы дорожной одежды, а также улучшить технико-эксплуатационные параметры дорог без значительного роста себестоимости производства работ, приобретает важное значение. Таким материалом может быть российский аналог финского «нефтегравия» – рыхлосвязной органоминеральной смеси (РОС), которая представляет собой смесь каменного материала, органического вяжущего и поверхностно-активных добавок [3].

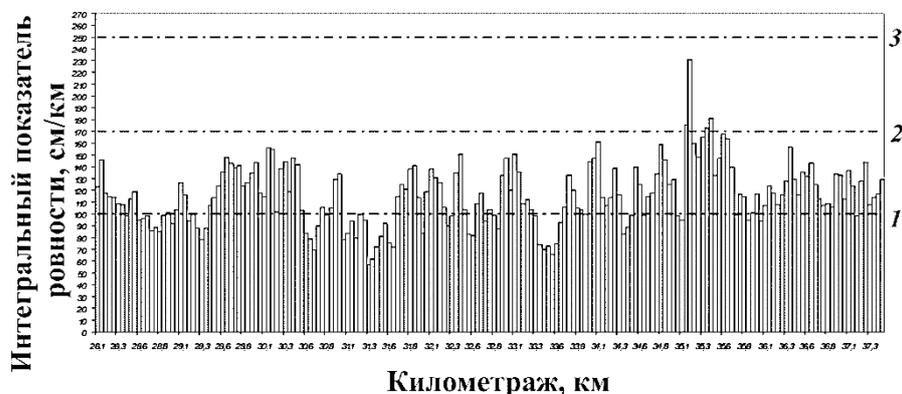
Первые опыты по внедрению в строительство дорог с низкой интенсивностью нового для Архангельской области материала РОС были предприняты в 2000 г. по инициативе Управления «Архангельскавтодор». В ходе эксперимента на участке автомобильной дороги Усть-Вага–Ядриха (IV техническая категория, интенсивность – 350 авт./сут с преобладанием транспортного потока тяжеловесных автопоездов) было построено 10 км нефтегравийного покрытия.

Цель данной работы – анализ технического состояния дорожного покрытия с помощью средств статистико-математической обработки результатов инструментальных измерений, проведенных дорожной лабораторией (модуль упругости, коэффициент ровности), с определением эмпирических параметров математической модели и их взаимозависимости.

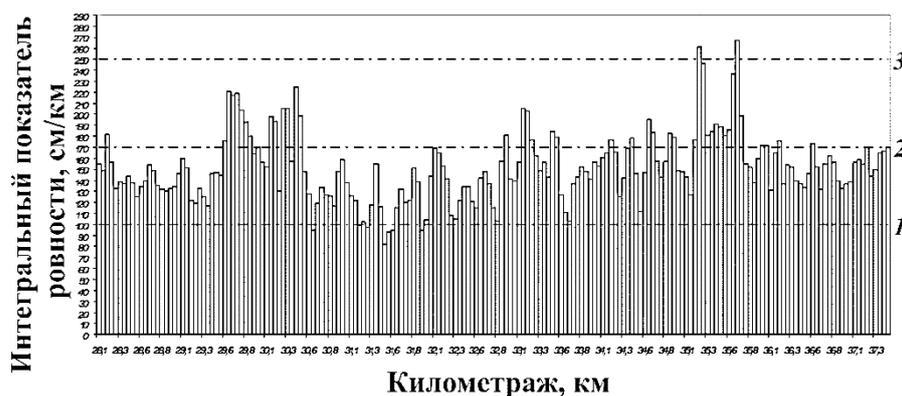
При анализе результатов обследования технического состояния покрытия дорожные службы, как правило, не проводят статистической обработки результатов измерений и определяют только тенденции развития процессов, происходящих в конструкции дорожной одежды, в основном максимумы, минимумы и средние значения выборки измеренных показателей. Этот подход к оценке технико-эксплуатационных свойств не отражает большинство количественных характеристик выборки, не обеспечивает достаточную достоверность результатов и не может служить основой для прогнозирования. В связи с этим нами предложено к перечисленным выше показателям дополнительно определять их дисперсию и среднеквадратическое отклонение. При этом, чтобы полностью охарактеризовать измеренные показатели, необходимо знать, какие численные значения они могут принимать и как часто эти значения появляются в общей массе измерений, для чего рекомендовано определять моду и медиану [4].

При оценке состояния ровности покрытия, измеренного толчкометром ТХК-2, установлено, что динамика изменения дисперсии, медиана и отклонение показателей ровности в 2005 г. увеличились соответственно в 1,43; 1,3 и 1,2 раза по сравнению с 2002 г. Это свидетельствует о том, что скорость изменения непосредственно самих скалярных величин интегрального показателя ровности превышает скорость увеличения распространения неровностей относительно определенного значения математического ожидания этого показателя.

На рис. 1 представлено изменение показателя ровности по годам.



*a*



*б*

Рис. 1. Толкограмма изменения коэффициента ровности: *a* – 2002 г., *б* – 2005 г.; 1 – отличное, 2 – хорошее, 3 – удовлетворительное состояние

На рис. 2 показано линейное распределение модуля упругости по длине опытного участка дороги на 2- и 5-й годы ее эксплуатации.

На 2-й год эксплуатации дорожного покрытия среднее значение модуля упругости составляет 224,7 МПа, т. е. покрытие достаточно хорошо работает в стадии упругой деформации. При этом дисперсия и размах соответственно 1171,8 и 143,2 МПа. Данный факт косвенно указывает на повышенный износ покрытия [1]. Поэтому особое внимание необходимо уделять соответствию толщин слоев дорожной одежды с проектом и с допусками строительных норм и правил. Сравнивая дисперсии 2002 и 2005 гг. можно сделать вывод, что за 3 года эксплуатации разброс значений модуля упругости относительно среднего значения уменьшается, как и скорость его изменения. При этом медианы значений модуля упругости изменяются от 218,6 до 179,2 МПа.

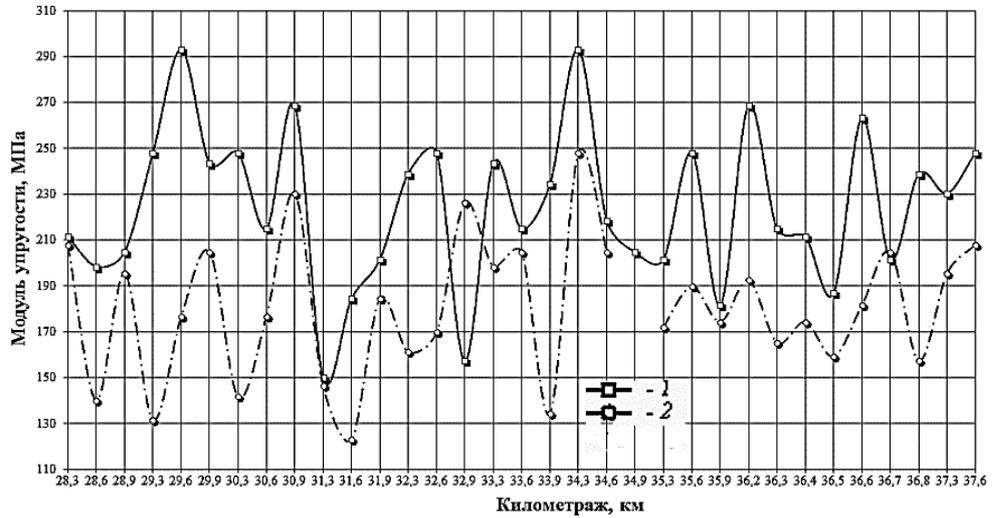


Рис. 2. Линейный график изменения модуля упругости: 1 – 2002 г., 2 – 2005 г.

На рис. 3 приведены гистограммы частот показателей (ровность и модуль упругости дорожного покрытия), измеренных на опытном участке дороги Усть-Вага–Ядриха.

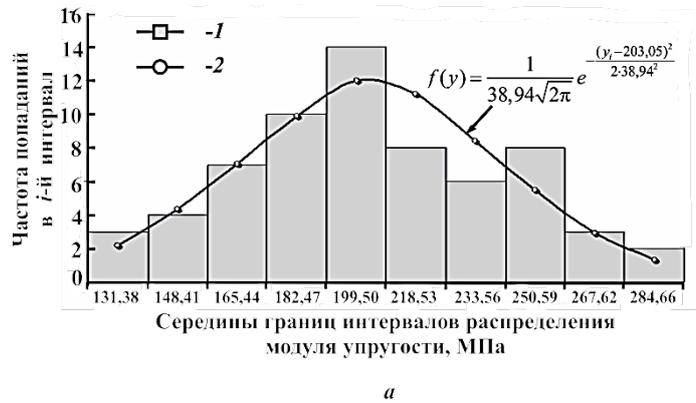


Рис. 3. Гистограммы распределения модуля упругости (а) и показателя ровности (б): 1 – фактическая, 2 – теоретическая частота попадания



Известно, что в течение срока службы свойства и состояние дорожных одежд в значительной степени изменяются под воздействием автомобильных нагрузок и природных факторов. Необходимо знать общие закономерности изменения основных эксплуатационных качеств дорожных одежд и связь между ними.

Воспользовавшись одним из математических описаний закономерности и данными обследования опытного участка, попытаемся их адаптировать для нефтегравийных дорожных покрытий посредством определения эмпирических параметров. Из всего многообразия существующих математических описаний взаимозависимости ровности и прочности выбрана модель, предложенная Харьковским автодорожным институтом [2]:

$$S(t) = \frac{S(t_0)A_1}{\sqrt[d]{B_1} K_{\text{пр}}} \exp(C_1 t_1), \quad (1)$$

где  $S(t)$  – показатель ровности покрытия на момент прогнозирования, см/км;

$S(t_0)$  – начальный показатель ровности покрытия, см/км;

$d, A_1, B_1, C_1$  – эмпирические коэффициенты;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент запаса прочности дорожной одежды;

$t_1$  – время эксплуатации дорожной одежды, лет.

По данным В.Ф. Демишкана [2], формула (1) адекватно описывает экспериментальные данные в соответствии с критерием Фишера для асфальтобетонных и чернощебеночных покрытий.

Выражение (1) является совокупностью показательных и экспоненциальных функций. Чтобы установить количественную зависимость связи, необходимо представить его в виде линейной зависимости, для этого выражение (1) изобразим в следующем виде:

$$S(t) = C \left( S(t_0)^{Z_1} K_{\text{пр}}^{Z_2} e^{t_1 Z_3} \right), \quad (2)$$

где  $C$  – постоянный параметр,  $C = \frac{A_1}{\sqrt[d]{B_1}}$ .

Прологарифмируем выражение (2):

$$\ln S(t) = \ln C \left( S(t_0)^{Z_1} K_{\text{пр}}^{Z_2} e^{t_1 Z_3} \right); \quad (3)$$

$$\ln S(t) = \ln C + Z_1 \ln S(t_0) + Z_2 \ln K_{\text{пр}} + Z_3 t_1 \ln e; \quad (4)$$

произведем замену переменных:

$$Y = \ln S(t); K = \ln C; X_1 = \ln S(t_0); X_2 = \ln K_{\text{пр}}; X_3 = t_1 \ln e = t_1 \cdot 1.$$

Тогда выражение (4) примет следующий вид:

$$Y(X_1, X_2, X_3) = K + Z_1 X_1 + Z_2 X_2 + Z_3 X_3. \quad (5)$$

На основании полученного линейного уравнения (5) и коэффициентов корреляции можно судить об адекватности рассматриваемых параметров. Во всех случаях коэффициент корреляции (по модулю) больше критического значения 0,24 [4], поэтому с вероятностью 95 % может полагать, что между переменными существует корреляционная связь.



Рис. 4. Измеренные (1) и прогнозные (2) значения показателя ровности для различного состояния дорожного покрытия: 3 – отличное, 4 – хорошее, 5 – требующее ремонта

После того, как будут установлены связи между переменными уравнения (5), определим эмпирические параметры с помощью программы Microsoft Office Excel.

Таким образом, в ходе регрессионного анализа для уровня значимости 0,05 получены следующие эмпирические показатели:

$$K = \ln C = 0,858; Z_1 = 0,820; Z_2 = -0,053; Z_3 = 0,089; C = 2,358.$$

После обратных преобразований адаптированная математическая модель (2) примет вид

$$S(t) = 2,358 \left( S(t_0)^{0,82} K_{\text{пр}}^{-0,053} e^{0,089 t_1} \right). \quad (6)$$

Результаты статистического расчета показывают, что коэффициент детерминации является умеренным и составляет 0,79. В связи с этим можно сделать вывод о том, что все исследуемые воздействующие факторы (начальная ровность, прочность и время) объясняют 79 % вариации выражения (6), остальные 21 % являются неопределенными и остаются неучтенными.

С помощью выражения (6) рассчитаем предсказанные (прогнозные) значения интегрального показателя ровности дорожного покрытия, результаты расчетов изобразим в графической форме (рис. 4).

#### Выводы

1. Для достижения правильности и объективности оценки измеренных показателей технического состояния дорожных покрытий (на примере обработки результатов обследований опытного участка дороги Усть-Вага–Ядриха) предложено дополнительно определять статистико-математические характеристики – дисперсию, среднеквадратическое отклонение, размах, моду и ме-

диану выборки. На основании их оценки можно сделать вывод о том, что применение материала РОС для повышения эксплуатационных характеристик автомобильных дорог эффективно.

2. При рассмотрении возможности применения РОС в покрытиях дорожных одежд на крупных лесосборочных магистралях необходимы дополнительные расчеты по определению требуемых толщин дорожных одежд применительно к нагрузкам от большегрузных лесовозных автопоездов.

3. В целях обеспечения высокого технического состояния дорожных покрытий из материала РОС эксплуатирующие организации должны уделять особое внимание соответствию технико-эксплуатационных характеристик (ровность, прочность и толщина дорожных одежд) нормативным значениям.

4. В границах исследуемого участка дороги с помощью корреляционно-регрессионного анализа результатов обследования состояния прочности и ровности дорожной конструкции получены эмпирические параметры математической модели их взаимозависимости. Для того, чтобы математически точно установить взаимозависимость прочности и ровности на других участках дорог с аналогичным материалом покрытия, необходимо изучить их структурные связи с более представительной выборкой. Полученная математическая модель может явиться основой методики определения перспективных значений интегральных коэффициентов ровности без их измерения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюля А.К. Работоспособность дорожных одежд. М.: Транспорт, 1968. 172 с.
2. Демичкан В.Ф. Усовершенствования управления состоянием автомобильных дорог при условиях ограниченных ресурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харьков, 2000. 17 с.
3. Дорожные нефтегравийные покрытия. Хельсинки: Изд-во «Neste», 1996. 179 с.
4. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. 288 с.

Поступила 20.03.12

*V.I. Zhabin<sup>1</sup>, M.A. Melnitsky<sup>1</sup>, O.V. Gerasimov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Road Agency "Arkhangelskavtodor".

#### **Empirical Evaluation of the Strength Characteristics of Oiled Gravel Road Surface**

The article presents the survey results of the experimental construction of the road section with oiled gravel surface. Statistical and mathematical processing of the results was carried out; empirical parameters of interdependence of surface strength and evenness were determined.

*Key words:* oiled gravel surface, strength, surface evenness.



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.059

*А.С. Торопов, Е.Ю. Кузнецов*

Поволжский государственный технологический университет

Торопов Александр Степанович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета, заслуженный деятель науки республики Марий Эл. Имеет более 200 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки лесоматериалов.  
E-mail: kuzen@mail.ru



Кузнецов Евгений Юрьевич родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета. Имеет 6 печатных работ в области совершенствования лесопильного оборудования и инструмента.  
E-mail: kuzeu@mail.ru



### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПИЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ КРУГЛЫМИ ПИЛАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ**

Приведены результаты теоретических исследований точности пиления древесины круглыми пилами при воздействии суммарной боковой силы и с применением электромагнитных направляющих. Разработана математическая модель взаимодействия параметров электромагнитной направляющей с отклонением пилы.

*Ключевые слова:* боковая сила, отклонение пилы, точность пиления, электромагнитная направляющая, усилие притяжения.

Исследователями установлено [4], что точность пиления древесины на лесопильных станках зависит от сил, действующих на пилу в процессе пиления, и способности пилы противодействовать этим силам.

Известен аналитический метод оценки точности пиления древесины Г.Ф. Прокофьева [6], который позволяет оценить влияние сил резания на точность пиления древесины на лесопильных станках.

---

©Торопов А.С., Кузнецов Е.Ю., 2013

Рабочая жесткость пилы от действия сил резания [6]:

$$j_p^P = j_n \left( 1 - \frac{P_r}{P_r^{кр}} \right), \quad (1)$$

где  $j_n$  – начальная жесткость круглой пилы, Н/м;

$P_r$  – радиальная сила резания, Н;

$P_r^{кр}$  – критическая радиальная сила резания, при достижении которой пила теряет устойчивость, Н.

Рабочая жесткость пилы от температурного перепада [7]:

$$j_p^T = j_n \sqrt{1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{кр}}}, \quad (2)$$

где  $\Delta T$  – температурный перепад по радиусу диска пилы, °С,

$$\Delta T = T_0 - T_b; \quad (3)$$

$T_0$  – температура на кромке пилы, °С,

$$T_0 = \frac{18 \cdot 10^4 N_{рез} K_d \alpha_c}{j_3} + T_b; \quad (4)$$

$N_{рез}$  – мощность на резание, кВт;

$K_d$  – коэффициент, учитывающий поступление тепла в диск;

$$\alpha_c = \frac{I_0(\sqrt{Bi})}{2\pi h \lambda_c \sqrt{Bi} I_1(\sqrt{Bi})} [7];$$

$j_3$  – механический эквивалент теплоты,  $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{ккал}}$ ;

$T_b$  – температура окружающего воздуха, °С;

$\Delta T_{кр}$  – критический температурный перепад, °С,

$$\Delta T_{кр} = \frac{1}{\alpha_l} \left[ \frac{\left(\frac{h}{a}\right)^2}{12(1-\mu^2)} f_0'(c, \lambda) + \frac{\rho v^2}{E} f_0''(c, \lambda) \right]; \quad (5)$$

$\alpha_l$  – коэффициент теплового расширения стали,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$h$  – толщина диска, м;

$a$  – внешний радиус диска, м;

$\mu$  – коэффициент Пуассона;

$f_0'(c, \lambda), f_0''(c, \lambda)$  – безразмерные функции [7];

$\rho$  – плотность диска,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v$  – скорость вращения диска, м/с;

$E$  – модуль Юнга, Па.

Начальная жесткость круглой пилы [7] определяется из уравнения

$$J_n = \frac{\pi E h^3}{6(1-\mu^2)a^2 f(c)}, \quad (6)$$

где  $f(c)$  – безразмерная функция.

Критическое значение радиальной силы резания для невращающегося диска без начальных напряжений [7] определяется по формуле

$$P_r^{кр} = \frac{\pi E h^3}{12(1-\mu^2)} \frac{f(c, \lambda, P_t / P_r)}{(D - d_\phi)}, \quad (7)$$

где  $f(c, \lambda, P_t / P_r)$  – безразмерная функция, во всех случаях можно принять

$$f(c, \lambda, P_t / P_r) = 1,167 [7];$$

$P_t / P_r$  – отношение касательной и радиальной сил резания, Н;

$D$  – диаметр пилы, м;

$d_\phi$  – диаметр зажимных фланцев, м.

Условие точного пиления на лесопильных станках [6] имеет вид:

$$y_{\max} = \frac{Q}{j_p^P} \leq [y], \quad (8)$$

где  $y_{\max}$  – максимальное отклонение пилы под действием боковой силы резания, м;

$Q$  – боковая сила резания, Н;

$j_p^P$  – рабочая жесткость пилы от действия сил резания, Н/м;

$[y]$  – допустимое отклонение пилы при пилении, м.

Ю.М. Стахийев [7], G.S. Shajer [11], C.D. Mote [10], S.G. Hutton [8] установили, что значительное влияние на точность пиления древесины круглыми пилами оказывают напряжения от температурного перепада, центробежных сил инерции. Исследования точности пиления древесины круглыми пилами, выполненные Л.А. Ковалевым [4], показали, что условие точного пиления круглыми пилами может быть представлено выражением (8). Однако полученные результаты оказались заниженными по сравнению с экспериментальными из-за отсутствия надежного аналитического метода расчета боковых сил. Но при оценке точности пиления круглыми пилами недостаточно учитывать влияние только боковых сил резания.

Для повышения точности пиления наиболее эффективно использовать направляющие [7]. Нами разработана конструкция электромагнитной направляющей, где снижение отклонения пилы достигается за счет электромагнитного поля, возникающего в воздушном зазоре между пилой и электромагнитами [5].

Цель данной работы – исследование точности пиления древесины круглыми пилами с электромагнитными направляющими.

Решаемые задачи:

разработать математическую модель взаимодействия параметров электромагнитной направляющей с отклонением пилы;

получить формулу для определения точности пиления древесины круглыми пилами при действии суммарной боковой силы и с применением электромагнитных направляющих.

В работе [9] представлена математическая модель определения суммарной боковой силы, которая основана на работе [8]. Система сил, приложенных к диску, показана на рис. 1, а.

На основании классической теории тонких пластин с малыми перемещениями получено уравнение колебаний диска:

$$D\nabla^4 W - h \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \left( \sigma_r^r \frac{\partial W}{\partial r} + \tau_{r\varphi} \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial r} \right) \right] - \frac{h}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \tau_{r\varphi} \frac{\partial W}{\partial r} + \sigma_{\varphi\varphi} \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \varphi} \right) + hp \left( \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + 2\Omega \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi \partial t} + \Omega^2 \frac{\partial^2 W}{\partial \varphi^2} \right) - q(r, \varphi) + P_{\text{ск}} = 0, \quad (9)$$

где  $D$  – цилиндрическая жесткость,  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ ;

$\nabla^4$  – оператор Лапласа,  $\nabla^4 = \left( \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right)^2$ ;

$P_{\text{ск}}$  – боковые силы.

Боковые силы  $P_{\text{ск}}$  (рис. 1, а) образуются под действием напряжений от температурного перепада, центробежных сил инерции, радиальной и касательной сил резания, демпфирующих сил:

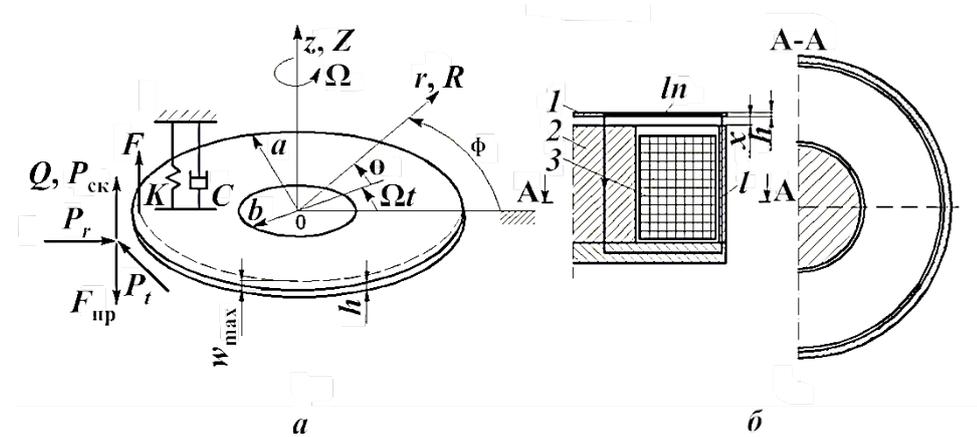


Рис. 1. Система сил, приложенных к диску (а), и конструкция электромагнита (б): 1 – полотно пилы, 2 – сердечник электромагнита, 3 – обмотка;  $P_r, P_t, Q$  – радиальная, касательная, боковая силы резания;  $a, b$  – внешний радиус диска и фланцев;  $h$  – толщина диска;  $r, \theta, z$  – система координат, связанная с телом;  $R, \varphi, Z$  – пространственная система координат;  $\varphi = \theta + \Omega t$ ;  $t$  – время;  $F$  – суммарная боковая сила;  $F_{\text{пр}}$  – усилие притяжения;  $w_{\text{max}}$  – максимальное отклонение пилы

$$P_{\text{ск}} = \left( KW + C \frac{\partial W}{\partial t} \right), \quad (10)$$

где  $K$  – коэффициент сопротивления раскалыванию древесины;  
 $\frac{\partial W}{\partial t}$  – изменение отклонения пилы под действием напряжений от темпера-

турного перепада, центробежных сил, радиальной и касательной сил резания во времени;

$C$  – коэффициент демпфирования воздуха.

Демпфирующие силы образуются в результате взаимодействия резца с древесиной и воздухом, они характеризуются сопротивлением раскалыванию древесины и коэффициентом демпфирования воздуха.

Суммарная боковая сила образуется от действия боковой силы резания  $Q$  и боковых сил  $P_{\text{ск}}$ :

$$F = Q + P_{\text{ск}}. \quad (11)$$

Радиальные, тангентальные и касательные центробежные напряжения:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^r &= D_1 + D_2 \frac{1}{r^2} + D_3 r^2; \\ \sigma_{\varphi\varphi}^r &= D_1 - D_2 \frac{1}{r^2} + D_4 r^2; \\ \tau_{r\varphi}^r &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $D_1 - D_4$  – коэффициенты центробежных напряжений [9].

Напряжения от сил резания:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^c &= \frac{a_0}{r^2} + \left( \frac{a_1}{r} + 2b_1 r - \frac{2a_1'}{r^3} + \frac{b_1'}{r} \right) \cos \varphi + \left( \frac{c_1}{r} + 2d_1 r - \frac{2c_1'}{r^3} + \frac{d_1'}{r} \right) \sin \varphi; \\ \sigma_{\varphi\varphi}^c &= -\frac{a_0}{r^2} + \left( 6b_1 r + \frac{2a_1'}{r^3} + \frac{b_1'}{r} \right) \cos \varphi + \left( 6d_1 r + \frac{2c_1'}{r^3} + \frac{d_1'}{r} \right) \sin \varphi; \\ \tau_{r\varphi}^c &= \frac{c_0}{r^2} + \left( 2b_1 r - \frac{2a_1'}{r^3} + \frac{b_1'}{r} \right) \sin \varphi - \left( 2d_1 r - \frac{2c_1'}{r^3} + \frac{d_1'}{r} \right) \cos \varphi, \end{aligned} \quad (13)$$

где  $a_0 - d_1'$  – коэффициенты напряжений от сил резания [9].

Температурные напряжения:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}^T &= \frac{E\alpha_l}{r^2} \left( \frac{r^2 - b^2}{a^2 - b^2} \int_b^a T r dr - \int_b^r T r dr \right); \\ \sigma_{\varphi\varphi}^T &= \frac{E\alpha_l}{r^2} \left( \frac{r^2 + b^2}{a^2 - b^2} \int_b^a T r dr - \int_b^r T r dr - Tr^2 \right); \\ \tau_{r\varphi}^T &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $T$  – температура на поверхности диска,  $T = T_0 \left( \frac{r^2 - a^2}{b^2 - a^2} \right)$ .

Общие радиальные  $\sigma_{rr}$ , тангентальные  $\sigma_{\phi\phi}$ , касательные  $\tau_{r\phi}$  напряжения равны сумме напряжений от центробежных сил инерции (12), сил резания (13) и температурного перепада (14):

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= \sigma_{rr}^r + \sigma_{rr}^c + \sigma_{rr}^T; \\ \sigma_{\phi\phi} &= \sigma_{\phi\phi}^r + \sigma_{\phi\phi}^c + \sigma_{\phi\phi}^T; \\ \tau_{r\phi} &= \tau_{r\phi}^c. \end{aligned} \quad (15)$$

Задача об изгибе сводится к решению дифференциального уравнения (9) с граничными условиями путем его интегрирования по методу Галеркина.

Граничные условия:  $W|_{(b,\phi,t)} = 0; \frac{\partial W}{\partial r}|_{(b,\phi,t)} = 0$ .

Отклонение пилы под действием напряжений:

$$W = [C_{mn} \cos(n\phi) + S_{mn} \sin(n\phi)] R_{mn}(r); \quad m, n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (16)$$

где  $C_{mn}, S_{mn}$  – функции времени диска:

$$\eta_{mn}^{(1)} C_{mn} + \eta_{mn}^{(2)} S_{mn} = Q R_{mn}(r_Q) \cos(n\phi_Q); \quad (17)$$

$$\eta_{mn}^{(3)} C_{mn} + \eta_{mn}^{(4)} S_{mn} = 0;$$

$\eta_{mn}^{(1)}, \eta_{mn}^{(2)}, \eta_{mn}^{(3)}, \eta_{mn}^{(4)}$  – коэффициенты, определяемые из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \eta_{mn}^{(1)} &= \alpha \zeta_{mn}^1 + K R_{mn}^2(r_K) \cos^2(n\phi_K); \\ \eta_{mn}^{(2)} &= -\alpha \zeta_{mn}^2 + K R_{mn}^2(r_K) \sin(n\phi_K) \cos(n\phi_K); \\ \eta_{mn}^{(3)} &= \beta \zeta_{mn}^2 + K R_{mn}^2(r_K) \sin(n\phi_K) \cos(n\phi_K); \\ \eta_{mn}^{(4)} &= \alpha \zeta_{mn}^1 + K R_{mn}^2(r_K) \sin^2(n\phi_K); \end{aligned} \quad (18)$$

$\alpha, \beta$  – коэффициенты, определяемые из условий

$$\alpha = \begin{cases} 2 & (n = 0) \\ 1 & (n \neq 0) \end{cases}; \quad \beta = \begin{cases} 0 & (n = 0) \\ 1 & (n \neq 0) \end{cases};$$

$\zeta_{mn}^1, \zeta_{mn}^2$  – коэффициенты, определяемые из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \zeta_{mn}^1 &= \int_b^a \pi R_{mn} [D r \left( \frac{d^4}{dr^4} + \frac{2}{r} \frac{d^3}{dr^3} - \frac{1}{r^2} \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r^3} \frac{d}{dr} - \frac{2n^2}{r^2} \frac{d^2}{dr^2} + \frac{2n^2}{r^3} \frac{d}{dr} - \frac{4n^2}{r^4} + \frac{n^4}{r^4} \right) R_{mn} - \\ &- h \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rr} \frac{dR_{mn}}{dr}) - h \frac{\partial \tau_{r\phi}}{\partial \phi} \frac{dR_{mn}}{dr} + \frac{1}{r} h n^2 R_{mn} \sigma_{\phi\phi} - n^2 \Omega^2 h \rho r R_{mn}] dr; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\zeta_{mn}^2 = h\pi n \int_b^a \pi R_{mn} \left( R_{mn} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + 2\tau_{r\varphi} \frac{dR_{mn}}{dr} + \frac{1}{r} R_{mn} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} \right); \quad (20)$$

$m, n$  – число узловых окружностей и диаметров диска;  
 $R_{mn}(r)$  – радиальная собственная функция диска,

$$R_{mn}(r) = \sum_{l=0}^4 E_{mn}^l r^{l+m}; \quad (21)$$

$E_{mn}^l$  – коэффициенты радиальной собственной функции диска [9];

$l$  – порядковый номер коэффициента радиальной собственной функции диска.

Расчет касательной ( $P_t$ ), радиальной ( $P_r$ ), боковой ( $Q$ ) сил резания и мощности резания ( $N_{рез}$ ) производили по формулам, представленным в работах Ю.М. Стахиева [7] и А.Л. Бершадского [1].

Касательная сила резания [7]:

$$P_t = a_p p b_1 + u_z \sin \theta_1 (k_1 b_2 + 2a_r H_1), \quad (22)$$

где  $a_p$  – коэффициент затупления;

$p$  – фиктивная удельная касательная сила по задней грани, Н/м;

$b_1$  – ширина стружки, м;

$u_z$  – подача на зуб, м;

$\theta_1$  – кинематический угол встречи, рад;

$k_1$  – фиктивное касательное давление на стружку со стороны передней грани, Н/м<sup>2</sup>;

$b_2$  – ширина пропила, м;

$a_r$  – коэффициент эффективного трения стружки о стенки пропила и пресования ее во впадине зуба;

$H_1$  – текущая глубина реза, м.

Радиальная сила резания [1]:

$$P_r = \frac{P_3}{f} - P_n \operatorname{tg}(70 - \delta_1), \quad (23)$$

где  $P_3$  – окружное усилие по задней грани, Н;

$f$  – коэффициент трения;

$P_n$  – окружное усилие по передней грани, Н;

$\delta_1$  – угол резания, рад.

В.И. Санев отмечает, что средние значения боковой силы резания составляют 8 % от касательной силы резания  $Q \approx 0,08 P_t$  [4].

Мощность резания

$$N_{рез} = \frac{K_p b h U}{6000}, \quad (24)$$

где  $K_p$  – удельная работа резания, Дж/м<sup>3</sup>;

$U$  – напряжение питания электромагнита, В.

Исполнительным механизмом в конструкции электромагнитной направляющей является электромагнит, выставленный с зазором  $x$  относительно полотна пилы. Конструкция электромагнита представлена на рис. 1, б.

Известны формулы для расчета усилия притяжения якоря [3]. Однако они не учитывают зависимость усилия притяжения от магнитных свойств, толщины и отклонения пилы, боковых сил.

Поэтому нами разработана математическая модель взаимодействия параметров электромагнита с отклонением пилы.

1. Индукция электромагнитного поля

$$B = \frac{IN}{\left( \frac{2h + l_n}{\mu_n} + \frac{l}{\mu_m} + \frac{2x}{\mu_0} \right)}, \quad (25)$$

где  $I$  – сила тока, А;

$l, l_n$  – длина магнитопровода и полотна пилы, находящегося в электромагнитном поле, м (рис. 3, б);

$\mu_m, \mu_0, \mu_n$  – магнитная проницаемость магнитопровода, воздуха, пилы, Гн/м;  
 $x$  – воздушный зазор, м.

2. Воздушный зазор

$$x = [n](w_{\max} + B' + A_T), \quad (26)$$

где  $[n]$  – коэффициент запаса по точности;

$w_{\max}$  – максимальное отклонение пилы, м;

$B', A_T$  – развод зубьев и торцевое биение пилы, м.

3. Усилие притяжения

$$F_{\text{пр}} = \frac{B^2 S}{2\mu_0 n_p}, \quad (27)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения магнитопровода, м<sup>2</sup>;

$n_p$  – число полюсов электромагнита.

Усилие притяжения пилы компенсирует боковые силы, следовательно, оно должно быть равно боковым силам по величине и противоположно по направлению. Компенсация боковой силы резания  $Q$  приведет к остановке процесса пиления, проблема становится неразрешимой. Поэтому в уравнении (11) будут компенсироваться боковые силы  $P_{\text{ск}}$  (10).

Таким образом, в случае применения электромагнитных направляющих, при условии  $F_{\text{пр}} = P_{\text{ск}}$ , суммарная боковая сила

$$F_{\text{эм}} = Q + P_{\text{ск}} - F_{\text{пр}}. \quad (28)$$

Максимальное отклонение пилы от суммарной боковой силы  $F$  определяется по формуле

$$w_{\max} = \frac{Q}{j_p^P} + \frac{P_{\text{ск}}}{j_p^T}, \quad (29)$$

где  $j_p^T$  – рабочая жесткость от температурного перепада, Н/м.

При этом должно соблюдаться условие точного пиления  $w_{\max} \leq [y]$ .

В формуле (29) при воздействии на пилу боковых сил  $P_{\text{ск}}$  учитывается рабочая жесткость от температурного перепада  $j_p^T$  (2), так как температурные напряжения оказывают наибольшее влияние на отклонение круглой пилы [7].

Из уравнения (25) получим выражение для определения силы тока в зависимости от отклонения пилы под действием боковых сил  $P_{\text{ск}}$ :

$$I = B_{\text{ск}} \frac{\left( \frac{2s + l_{\text{п}}}{\mu_n} + \frac{l}{\mu_m} + \frac{2x}{\mu_0} \right)}{N}, \quad (30)$$

где  $B_{\text{ск}}$  – электромагнитная индукция в зависимости от боковых сил  $P_{\text{ск}}$  при  $F_{\text{пр}} = P_{\text{ск}}$ ,

$$B_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ск}} 2\mu_0 n_{\text{п}}}{S}}. \quad (31)$$

В случае применения электромагнитных направляющих предлагается максимальное отклонение пилы определять по следующей формуле:

$$w_{\max}^{\text{эм}} = \frac{Q}{j_p^P} + \frac{P_{\text{ск}} - \frac{B_{\text{ск}}^2 S}{2\mu_0 n_{\text{п}}}}{j_p^T}. \quad (32)$$

При решении уравнений использовали программу MathCAD14.

*Исходные данные:*  $a = 0,28$  м;  $b = 0,035$  м;  $h = 0,022$  м;  $z = 48$  шт.;  $\theta = 0,419$  рад;  $E = 2,24 \cdot 10^{11}$  Па;  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_1 = 0,000011$  °C<sup>-1</sup>;  $\Omega = 145$  рад/с;  $\mu = 0,3$ ;  $m = 0$ ,  $n = 1$ ;  $\phi = 130$  рад;  $\phi, \phi_0, \phi_K = 0,414$  рад;  $r, r_0, r_K = 0,28$  м;  $\alpha, \beta = 1$ ;  $b_2 = 0,005$  м;  $b_1 = 0,0022$  м;  $a_p = 1$ ;  $a_T = 0,072$ ;  $f = 0,7$ ;  $\theta_1 = 1,157$  рад;  $\delta_1 = 1,05$  рад;  $B' = 0,0014$  м;  $A_T = 0,0005$  м;  $f(c) = 2,9$ ;  $n_{\text{п}} = 3$ ;  $T_{\text{в}} = 20$  °C;  $K_{\text{д}} = 0,01$ ;  $j_3 = 4270$  Н·м/ккал;  $l = 0,275$  м;  $l_{\text{п}} = 0,085$  м;  $S = 0,006$  м<sup>2</sup>;  $t = 0,29$  с;  $\mu_m = 0,001256$  Гн/м;  $\mu_{\text{п}} = 0,0007536$  Гн/м;  $\mu_0 = 0,0000004\pi$  Гн/м;  $j_{\text{н}} = 6000$  Н/м;  $P_r^{\text{сп}} = 1634$  Н;  $[n] = 1,2$ ;  $v = 40$  м/с;  $C = 0$ ;  $K = -7200$  Н/м (для сосны, резание в тангентальной плоскости) [2].

В таблице представлены данные об отклонении пилы от суммарной боковой силы (29) и с применением электромагнитных направляющих (32). При использовании электромагнитных направляющих суммарная боковая сила равна боковой силе резания:  $F_{\text{эм}} = Q$ . Отклонение пилы при использовании электромагнитных направляющих равно по отклонению от боковой силы резания:  $w_{\max}^{\text{эм}} = y_{\max}$ . На основании данных таблицы построены графики максимального отклонения пилы от скорости подачи  $u$  и высоты пропила  $h$  (рис. 2).

Графики показывают, что применение электромагнитных направляющих может повысить точность пиления в 2–3 раза при увеличении высоты пропила (рис. 2, а) и в 1,7–1,9 раза при увеличении скорости подачи (рис. 2, б). Отклонение пилы от боковой силы резания  $y_{\max}$  в несколько раз меньше отклонения от суммарной боковой силы  $w_{\max}$ .

Результаты исследований точности пиления древесины круглой пилой

Показатель качества пиления	Значение показателя						
	при $u = 10$ м/мин и $h$ , мм			при $h = 50$ мм и $u$ , м/мин			
	50	75	100	1	4	7	10
$w_{\max}$ , мм	0,88	1,62	1,85	0,43	0,54	0,72	0,88
$w_{\max}^{\text{ЭМ}}$ , мм	0,46	0,55	0,62	0,25	0,31	0,40	0,46
$F$ , Н	5,20	9,40	10,50	2,40	3,25	4,30	5,20
$F_{\text{ЭМ}}$ , Н	2,80	3,30	3,90	1,50	1,90	2,40	2,80
$N_{\text{рез}}$ , кВт	2,23	3,77	5,59	1,37	1,66	1,95	2,23

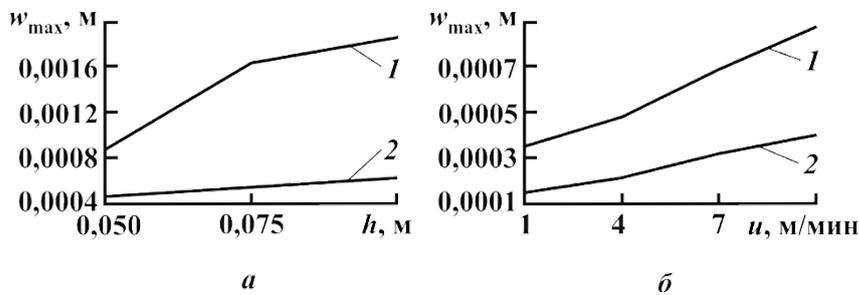


Рис. 2. Зависимость максимального отклонения пилы от скорости подачи (а) и высоты пропила (б): 1 – отклонение пилы  $w_{\max}$  от суммарной боковой силы; 2 – отклонение пилы  $w_{\max}^{\text{ЭМ}}$  с применением электромагнитных направляющих

Графики зависимости силы тока (определяемого по уравнению (30)) от максимального отклонения пилы при увеличении высоты пропила (рис. 3, а) и скорости подачи (рис. 3, б) показывают, какую величину силы тока необходимо создать в обмотке электромагнита, чтобы компенсировать отклонение пилы  $w_{\max}$ .

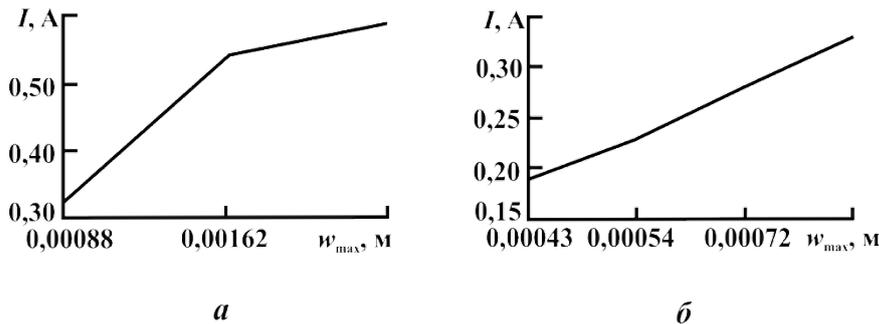


Рис. 3. Зависимость силы тока  $I$  в обмотке электромагнита от максимального отклонения пилы  $w_{\max}$  при увеличении высоты пропила (а) и скорости подачи (б)

Таким образом, получены формулы для определения точности пиления древесины круглыми пилами с электромагнитными направляющими и при воздействии суммарной боковой силы. Они позволяют определять параметры

электромагнитных направляющих в процессе их проектирования и применения в промышленности. Результаты исследований нуждаются в проверке, поэтому в дальнейшем будут проведены экспериментальные исследования точности пиления с электромагнитными направляющими.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бершадский А.Л.* Расчет режимов резания древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 173 с.
2. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
3. *Касаткин А.С., Немцов М.В.* Курс электротехники: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2005. 542 с.
4. *Ковалев Л. А.* Повышение точности пиления древесины круглыми пилами: автореф. дис. ...канд. техн. наук. Архангельск, 2011. 19 с.
5. Пат. № 2397861 РФ, МПК В 27 В 13/10. Отжимная магнитная направляющая круглой пилы / Шарапов Е.С., Кузнецов Е.Ю. 2009136759/03; заявл. 05.10.2009 ; опубл. 27.08.2010.
6. *Прокофьев Г.Ф.* Аналитический метод определения точности пиления древесины рамными и ленточными пилами // Лесн. журн. 1996. № 6. С. 74–80. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Стахийев Ю.М.* Устойчивость и колебания плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 267 с.
8. *Hutton S. G., Chonan S., Lehman B.F.* Dynamic response of a guided circular saw // Journal of Sound and Vibration. 1987. Vol. 112, N 3. P. 527–539.
9. *Longxiang Y.* Supercritical speed response of circular saws: a thesis for the degree master of applied science. Canada: Vancouver, Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia, 1990.
10. *Mote C.D., Szumany R.* Principal developments in circular saw vibration and research // Journal Holz als Roh und Werkstoff. N 35. 1977. P. 219–225.
11. *Schajer G.S.* Why are guided circular saws more stable than unguided saws? // Journal Holz als Roh und Werkstoff. 1986. N 44. P. 465–469.

Поступила 26.04.12

*A.S. Toropov, E.Yu. Kuznetsov*  
Volga State University of Technology

#### **Theoretical Research of Accuracy of Woodsawing by Circular Saws using Electromagnetic Guides**

The article presents the results of theoretical researches of accuracy of woodsawing by circular saws when exposed to total side force and using electromagnetic guides. A mathematical model of interaction of electromagnetic guide parameters with the saw displacement value was developed.

*Key words:* side force, saw displacement, sawing accuracy, electromagnetic guide, lifting force.

УДК 620.9:662.6

**О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, В.И. Малыгин**

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

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок Северодвинского филиала Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 50 печатных работ в области повышения энергоэффективности использования древесного сырья.  
E-mail: oskar@mail.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, действительный член АПК РФ и РАЕН, председатель диссертационного совета. Имеет более 250 научных работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования малоценной древесины и отходов деревообработки на основе новых технологий.  
Тел.: 8(8182) 21-61-49



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 190 публикаций в области теплоэнергетики.  
E-mail: v.lubov@narfu.ru



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. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.  
E-mail: v.malygin@narfu.ru



## **ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ**

Исследовано и проанализировано влияние давления прессования на коэффициент бокового давления при прессовании древесных гранул в зависимости от фракционного состава и влажности исходного сырья.

*Ключевые слова:* древесные отходы, опилки, влажность древесины, насыпная плотность, относительная плотность, давление, коэффициент бокового давления, пресс-гранулятор, матрица, фильера.

© Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Малыгин В.И., 2013

В отечественной и мировой практике для утилизации избыточного количества древесных отходов все большее распространение получает метод переработки их в древесные топливные гранулы – пеллеты.

Технологический процесс прессования древесных гранул имеет много особенностей. Важнейшими характеристиками качества топливных древесных гранул, определяющими их потребительскую ценность, являются плотность, теплотворная способность, влажность, зольность и истираемость. Как отмечено в [2], конечная плотность спрессованных древесных гранул зависит в основном от развиваемого давления в прессе-грануляторе, которое практически равно давлению выталкивания гранулы из фильеры. На давление выталкивания оказывают существенное влияние такие факторы, как относительная (по отношению к диаметру) длина фильеры, коэффициент внешнего трения спрессованных древесных гранул о поверхность фильеры и коэффициент Пуассона спрессованной древесной гранулы.

Из теории и практики прессования порошковых материалов известно, что чем больше давление прессования, тем больше боковое давление, действующее на стенку матрицы и распирающее ее [1]. Установлено [2, 3], что процесс выталкивания гранул можно рассматривать как квазистационарный, при котором сила выталкивания древесной гранулы уравнивается интегральной силой поверхностного трения гранулы о стенки фильеры. Местная сила трения, в свою очередь, прямо пропорциональна местному боковому давлению древесной гранулы на стенки фильеры матрицы. При этих условиях осевое давление по длине гранулы имеет экспоненциальный характер от длины фильеры.

Для того чтобы рассчитать силу выталкивания древесной гранулы из фильеры и определить давление прессования, необходимо знать зависимость бокового давления спрессованной древесной гранулы на стенки фильеры от давления прессования. В технической литературе отсутствуют данные о зависимости бокового давления при прессовании древесной шихты от ее фракционного и породного состава, влажности и осевого давления.

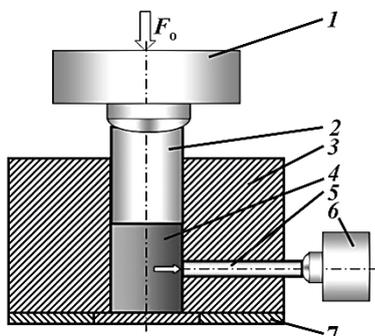
Цель данного исследования – определение влияния давления прессования при прессовании древесной массы (шихты) на боковое давление древесных гранул на стенки фильеры в зависимости от фракционного состава и исходной влажности шихты.

В качестве объекта исследования использовали шихту из древесины сосны и березы с сит с максимальными размерами отверстий 2,0, 1,0 и 0,5 мм, а также древесно-шлифовальную пыль (ДШП). Исходное влагосодержание древесной шихты  $W = 6,09; 10,09; 15,00$  и  $20,00$  %.

Для проведения эксперимента была создана установка, принципиальная схема которой приведена на рис. 1 [4].

Прессование древесной шихты осуществлялось в замкнутом пространстве, образованном боковой цилиндрической поверхностью фильеры, жесткой подложкой 7 и торцевой поверхностью подвижного пуансона 2, что обеспечивало постоянство как осевого усилия по длине гранулы, так и бокового давления по ее боковой поверхности. Осевое усилие прессования  $F_o$  создавалось с помощью ручного пресса усилием до 20 кН и определялось датчиком силы 4.

Рис. 1. Принципиальная схема стэнда для определения бокового давления: 1 – матрица; 2 – пуансон формирования гранулы; 3 – гранула; 4 – датчик силы прессования; 5 – пуансон для передачи боковой силы; 6 – датчик боковой силы; 7 – подложка с центральным отверстием (для удаления спрессованной гранулы)



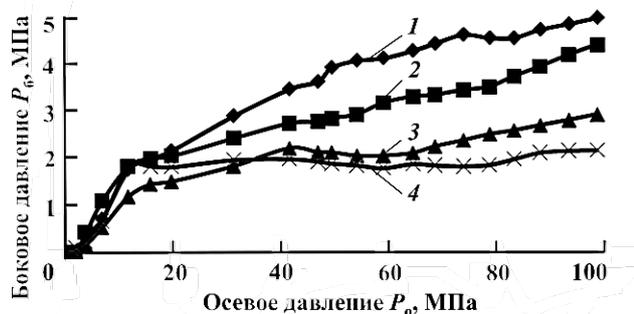
Боковая сила давления  $F_6$  гранулы на стенки фильеры через пуансон 5 воспринималась датчиком силы 6. Диаметр пуансона прессования  $D = 8$  мм, диаметр пуансона бокового давления  $d = 5$  мм. При прессовании осевое усилие изменялось до 5 кН, что позволило создать давление прессования до 100 МПа.

В процессе прессования древесной гранулы измеряли силы, действующие на датчики сил в осевом и боковом направлениях. По ним были определены осевое давление (давление прессования)  $P_0$ ; боковое давления  $P_6$  и коэффициент  $\nu$  бокового давления (отношение  $P_6/P_0$ ).

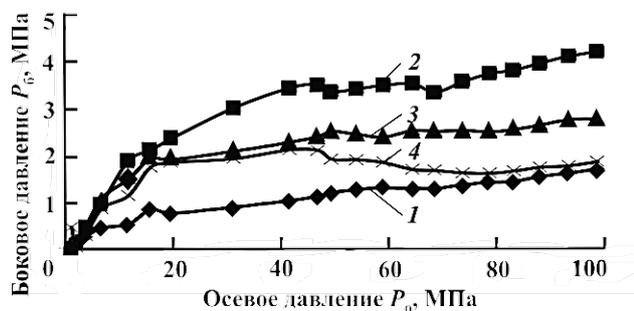
При указанных диаметрах пуансонов

$$\nu = 2,56 \frac{F_6}{F_0}. \quad (1)$$

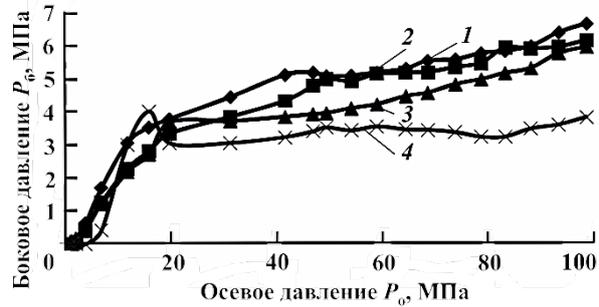
Результаты измерений представлены на рис. 2.



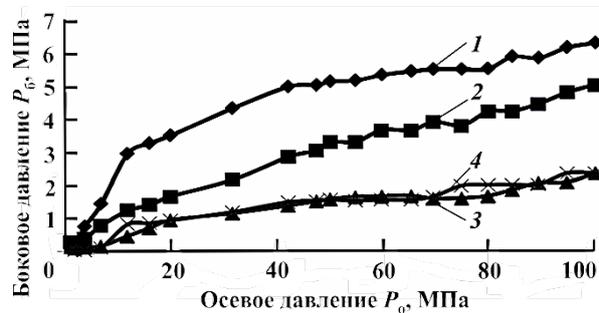
a



b



а



б

Рис. 2. Зависимость бокового давления  $P_b$  от давления прессования  $P_o$  древесной (сосновой) шихты с фракционным составом  $\delta \leq 2,0$  мм (а),  $\delta \leq 1,0$  мм (б),  $\delta \leq 0,5$  мм (в) и березовой ДШП (г) при влажности  $W = 6,09$  % (1); 10,09 (2); 15,00 (3); 20,00 % (4)

Из приведенных на рис. 2 графиков видно, что зависимость бокового давления  $P_b$  от давления прессования  $P_o$  носит нелинейный характер. При этом в пределах одного фракционного состава боковое давление  $P_b$  зависит от исходной влажности  $W$  шихты. Чем она выше, тем ниже боковое давление.

Для практического применения значительно больший интерес представляют не абсолютные значения бокового давления, а отношение  $P_b/P_o$  (коэффициент бокового давления), по сути представляющее собой коэффициент Пуассона  $\nu$ , который для различных условий прессования представлен на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что зависимость коэффициента бокового давления  $\nu$  от давления прессования  $P_o$  имеет сложный характер. В начале процесса прессования древесной гранулы на боковое давление  $P_b$  преобладающее влияние оказывают упругие деформации древесной шихты, при этом коэффициент бокового давления  $\nu$  быстро растет. По мере увеличения  $P_o$  преобладающее влияние на боковое давление оказывают пластические деформации древесной шихты. Вследствие этого рост коэффициента бокового давления замедляется, затем происходит его снижение. Максимальное значение  $\nu$  достигается при  $P_o = 8 \dots 14$  МПа.

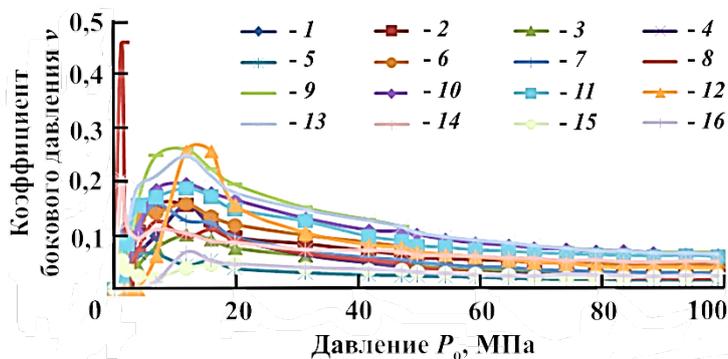


Рис. 3. Зависимость коэффициента бокового давления  $v$  от приложенного осевого давления прессования  $P_0$ : 1–4 –  $\delta \leq 2,0$  мм; 5–8 –  $\delta \leq 1,0$ ; 9–12 –  $\delta \leq 0,5$ ; 13–16 – ДШП; 1, 5, 9, 13 –  $W = 6,09$  %; 2, 6, 10, 14 – 10,09; 3, 7, 11, 15 – 15,00; 4, 8, 12, 16 – 20,00 %

В существующих технологиях процесс прессования древесных гранул осуществляется при давлениях 25...30 МПа, т.е. за пределами максимума коэффициента бокового давления. Это обстоятельство приводит к тому, что по мере продвижения древесной гранулы в фильере от входа к выходу коэффициент бокового давления сначала возрастает, а потом снижается. В результате распределение давления по длине фильеры отличается от экспоненты, что подтверждают экспериментальные данные определения давления выталкивания спрессованной гранулы по мере ее продвижения в фильере матрицы (рис. 4).

Сопоставление приведенных на рис. 3 зависимостей с известными показало, что для описания этих кривых может быть использовано уравнение

$$v = AP_0^B e^{CP_0}. \quad (2)$$

Здесь  $A$ ,  $B$  и  $C$  – коэффициенты, зависящие от фракционного и породного состава древесной шихты и ее исходной влажности, подлежат определению при дальнейшей обработке экспериментальных данных по прессованию древесных гранул.

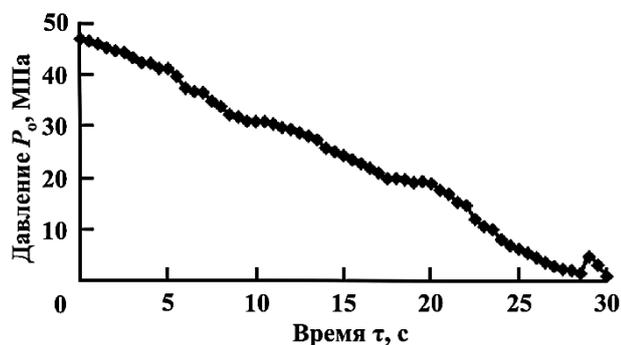


Рис. 4. Зависимость изменения давления выталкивания  $P_0$  за время выталкивания  $\tau$  древесной гранулы из фильеры

*Выводы*

1. При производстве древесных гранул их плотность определяется приложенным давлением, которое при заданных геометрических параметрах фильера зависит от исходного состава древесной шихты, ее влажности и коэффициента бокового давления  $\nu$ .

2. На боковое давление наиболее существенное влияние оказывает влажность исходной древесной шихты – чем она выше, тем ниже боковое давление, а следовательно, и давление выталкивания  $P_0$ , т.е. увеличение влажности исходного сырья снижает давление прессования и, как следствие, плотность готовых древесных гранул.

3. Связь между коэффициентом бокового давления и давлением прессования носит сложный характер и может быть описана уравнением (2).

4. Наибольшее значение коэффициента бокового давления в процессе формирования древесных гранул достигается при давлении прессования 8...14 МПа.

5. Полученные результаты позволяют наметить направления дальнейших экспериментальных и теоретических исследований для определения основных параметров процесса, обеспечивающих получение древесных гранул заданного качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кипарисов С.С., Либенсон Г.А.* Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1971. 528 с.

2. *Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К.* Влияние параметров технологического оборудования на качественные показатели древесных гранул // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 90–98. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Назаров В.И., Макаренков Д.А., Булатов И.А.* Исследование процесса гранулирования дисперсных отходов на роторных прессах с плоской матрицей // Вестн. МИТХТ. 2010. Т. 5, № 6. С. 13–16.

4. Экспериментальный стенд для исследования процессов прессования древесных гранул / О.Д. Мюллер [и др.] // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 42–46. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.02.12

*O.D. Myuller, V.I. Melekhov, V.K. Lyubov, V.I. Malygin*

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

**The Effect of Compacting Pressure on the Side Pressure Coefficient of Wood Pellets**

The paper investigates and analyzes the effect of compacting pressure on the side pressure coefficient during pellet compaction, depending on the fractional composition and moisture content of the raw material.

*Key words:* wood waste, saw dust, wood moisture content, bulk density, relative density, pressure, side pressure coefficient, pellet press, matrix, die.

УДК 624.072.2.011

**С.И. Рощина, П.Б. Шохин, М.С. Сергеев**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Рощина Светлана Ивановна окончила в 1988 г. Владимирский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительных конструкций Владимирского государственного университета. Имеет более 110 печатных работ в области испытаний и расчета армированных деревянных конструкций на длительную нагрузку и ползучесть.  
E-mail: rsi3@mail.ru



Шохин Павел Борисович родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Владимирский государственный университет, ассистент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета. Имеет более 20 работ в области испытаний и расчета деревянных конструкций.  
E-mail: pashka333@bk.ru



Сергеев Михаил Сергеевич родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Владимирский государственный университет, ассистент кафедры строительных конструкций Владимирского государственного университета. Имеет более 20 работ в области испытаний и расчета деревянных конструкций.  
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕРЕВОКОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК**

Показана возможность применения углеродных нанотрубок в составе деревокомпозитных конструкций; приведены методики их испытания.

*Ключевые слова:* деревокомпозитные балки, деформативность, прочность, углеродные нанотрубки, компаунд.

Углеродные нанотрубки известны своими уникальными механическими, электрическими и термическими свойствами и пригодны для широкого применения в клеевых композициях. Модуль Юнга (1000 ГПа) и прочность на растяжение (60 ГПа) были измерены на определенной программе структуре композиции. Такое сочетание свойств и формы элемента, совместимое с современными технологиями создания композитных конструкций, дает возможность получить новые конструкционным материалам.

Высокая прочность углеродных нанотрубок (УНТ) обеспечивает прочностные и упругие свойства композитных конструкций, а также на 10...50 % увеличивает их динамическую прочность.

Анализ научно-технической литературы [1–5] позволяет сделать вывод о том, что модификация полимерных композиционных материалов (ПКМ) нанонаполнителями (гибридные ПКМ) является одной из приоритетных задач современного материаловедения.

Цель наших исследований состоит в придании ПКМ функциональных свойств (электропроводность, теплопроводность, разработка интеллектуальных материалов) и увеличении физико-механических и эксплуатационных характеристик ПКМ за счет повышения взаимодействия между армирующим наполнителем и матрицей, роста коэффициента трещиностойкости.

Было принято решение о введении УНТ в состав эпоксидной смолы, так как она обладает высокими адгезионно-когезионными свойствами при взаимодействии с древесиной. Для этого ФГУП «Всероссийский национально-исследовательский институт авиационных материалов» совместно с Тамбовским государственным техническим университетом и ООО «Нанотехцентр» были изучены процессы совмещения эпоксидной смолы с различными типами УНТ.

В качестве композитной конструкции рассматривались деревянные балки перекрытия, усиленные стеклотканью на основе базальтового стекловолокна, приклеенной компаундом с включением УНТ и без них.

Исследование выполнено на моделях армированных балок, запроектированных по принципу полного физического и геометрического подобия с масштабным коэффициентом  $ml = 0,4$ . За основу приняты натурные конструкции пролетом 6 м.

При планировании эксперимента определяли оптимальное число испытываемых моделей и требуемое число образцов для установления статистических характеристик материала моделей. Испытания проведены на 5 группах балок по 3 образца в каждой:

первая группа (БД-1) – деревянные балки без армирования;

вторая группа (БК-1) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

третья группа (БК-2) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20;

четвертая группа (БКУНТ-1) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 2 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав УНТ концентрацией 0,3 %;

пятая группа (БКУНТ-2) – деревянные балки с армированием растянутой зоны стеклотканью в 4 слоя, приклеенной эпоксидной смолой ЭД-20 с включением в ее состав УНТ концентрацией 0,3%.



Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда



Рис. 2. Расстановка тензодатчиков по высоте сечения

Балки изготовлены из древесины сосны влажностью  $10 \pm 2 \%$ , сечением  $100 \times 70$  мм и пролетом 2250 мм. Все испытания проводились по двухточечной схеме нагружения на экспериментальном стенде (рис. 1), расстановка датчиков приведена на рис. 2.

На первом этапе нагружение заготовок балок осуществлялось до 0,80 нормативной нагрузки, ступенями по 0,1 от верхнего предела, на втором – до разрушения ступенями, равными 0,25 расчетной нагрузки. На обоих этапах время выдерживания под нагрузкой на каждой ступени принято 5 мин.

Разрушение балок БД начиналось в растянутой зоне, в месте расположения пороков в виде сучка, и происходило при средней нагрузке 1180 кг. После этого сжатые волокна древесины теряли устойчивость с образованием пластической складки. В опорной зоне балок никаких деформаций отмечено не было.

Разрушение балок БК-1 и -2 происходило при нагрузке соответственно 1800 и 2100 кг из-за разрушения растянутых волокон в зоне расположения порока в виде сучка.

Разрушение балок БКУНТ-1 и -2 происходило при нагрузке соответственно 2400 и 2700 кг из-за потери устойчивости сжатых волокон с образованием пластической складки. Результаты испытания композитных балок приведены в таблице.

Серия балок	Сечение		Нагрузка $P$ , кг	Деформация $\epsilon \cdot 10^{-4}$	Прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	$h$	$b$				
БД-1	100,0	70,1	940	19,63/21,62	7,47	1180
БД-2	100,2	69,0		19,60/21,75	7,52	1200
БД-3	99,8	70,0		19,57/21,72	7,45	1160
БК-1-1	101,1	60,8	1250	15,94/13,48	8,88	1750
БК-1-2	100,8	70,0		15,88/13,59	8,92	1830
БК-1-3	101,0	70,3		15,88/13,44	8,90	1820

Окончание таблицы

Серия балок	Сечение		Нагрузка $P$ , кг	Деформация $\epsilon \cdot 10^{-4}$	Прогиб, мм	Разрушающая нагрузка, кг
	$h$	$b$				
БК-2-1	101,9	70,0	1400	20,48/14,54	9,09	2120
БК-2-2	102,3	70,1		20,48/14,46	9,22	2150
БК-2-3	102,1	70,0		20,53/14,50	9,25	2030
БКУНТ-1-1	101,2	69,7	1250	15,31/10,95	7,95	2400
БКУНТ-1-2	101,0	69,9		15,26/10,90	7,90	2420
БКУНТ-1-3	101,2	69,9		15,32/10,87	7,93	2400
БКУНТ-2-1	102,4	70,0	1400	20,50/11,00	8,0	2680
БКУНТ-2-2	102,4	70,2		20,53/10,98	7,98	2690
БКУНТ-2-3	102,2	69,8		20,44/11,02	8,02	2730

Примечание. В числителе приведены значения деформации на сжатие, в знаменателе – на растяжение.

На основании полученных результатов испытания деревокомпозитных балок с применением УНТ установлено:

армирование повышает их несущую способность на 34...56 % и уменьшает деформативность на 24...42 % по сравнению с обычными деревянными балками. Это позволяет использовать их под повышенные нагрузки, расширяет область применения и дает экономию древесины при производстве конструкций;

армирование с включением УНТ в состав компаунда повышает их несущую способность на 25...27 % и уменьшает деформативность на 20...25 % по сравнению с армированными деревянными балками без включения в состав компаунда УНТ;

склеивание деревянных балок компаундом с включением УНТ увеличивает трещиностойкость древесины, о чем свидетельствует характер разрушения конструкции;

армированные деревянные балки сохраняют общую устойчивость. При появлении трещин в балке и разрушении древесины покрытие из стеклоткани не имеет повреждений.

Проведенные исследования показали возможность эффективного применения усиленных элементами УНТ деревокомпозитных балок для нового строительства и при реконструкции зданий и сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлсен Г.Г., Слицкоухов Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: Стройиздат, 1986. 543 с.
2. Расчет композитных деревоклееных балок на основе применения инженерного метода /С.И. Рощина, М.В. Лукин, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов// Лесн. журн. 2012. № 3. С. 90–94. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. С. 32.

4. *Рощина С.И.* Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. СПб., 2009. 20 с.

5. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80\*.

Поступила 15.10.12

*S.I. Roshchina, P.B. Shokhin, M.S. Sergeev*  
Vladimir State University

#### **Study of Composite Wood Structures Using Carbon Nanotubes**

The article deals with the use of carbon nanotubes in composite wood structures and describes beam test methods.

*Key words:* composite wood beams, deformability, strength, carbon nanotubes, compound.

---

УДК 694.4: 658.52.011.56

*А.Б. Шмидт, М.Н. Павленко*

С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Шмидт Александр Борисович родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Алтайский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой технологий проектирования зданий и сооружений С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 80 печатных работ в области проектирования и расчета несущих клееных деревянных конструкций.  
E-mail: ukf@bk.ru



Павленко Мария Николаевна окончила в 2009 г. Алтайский государственный технический университет, аспирант кафедры технологий проектирования зданий и сооружений С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет 9 печатных работ в области автоматизированных систем проектирования строительных конструкций.  
E-mail: mariya.pavlenko@gmail.com



### **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ФЕРМ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЛАСТИНАХ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Рассмотрены проблемы проектирования деревянных ферм на металлических зубчатых пластинах (МЗП), связанные с рациональным расположением и определением рабочей площади пластины, перерасходом материалов. Предложен программный комплекс УИИК, позволяющий проектировать фермы на МЗП. Разработан алгоритм определения рабочих площадей и средства рационального размещения пластины в узле. Описаны новые компоненты, внедренные в систему, технология интерактивного взаимодействия с объектами, развернутая помощь на каждом этапе проектирования.

*Ключевые слова:* автоматизированная система, программный продукт, деревянные конструкции, металлические зубчатые пластины.

Одним из современных видов соединений деревянных элементов являются металлические зубчатые пластины (МЗП), которые в последнее время приобретают популярность. В России они применяются в жилищном домостроении как один из видов соединений элементов стропильных конструкций.

Начало исследований работы соединений на МЗП и накопление опыта их применения и проектирования было положено в 70-х годах прошлого столетия в Йошкар-Оле. Результаты исследований использовались при разработке методов расчета и нормативной документации решетчатых конструкций на МЗП. На сегодняшний день появились разнообразные (по форме и располо-

жению зубьев, толщине и размерам) типы этих пластин в зависимости от используемой породы древесины элементов.

В соответствии с нормативными документами несущая способность соединений зависит от их типа, размера, толщины и расположения пластины по отношению к волокнам древесины. Суть расчета соединения на МЗП заключается в подборе «рабочей площади» пластины для определения ее несущей способности и сравнении последней с действующими на узел усилиями [1, 4–7].

Рабочей считается площадь МЗП, приходящаяся на элементы, за исключением краевых полос шириной 10 мм. Принимая во внимание требуемую площадь пластины, подбирают параметры МЗП таким образом, чтобы ее рабочая площадь на элементе была больше требуемой. При этом необходимо, чтобы минимальная площадь МЗП на элементе составляла не менее  $50 \text{ см}^2$ , а сама пластина не выходила за краевые кромки элементов. Поэтому необходимо разместить МЗП в узле наиболее рациональным образом и задействовать ее максимальную площадь.

Расчетная несущая способность МЗП принимается на  $1 \text{ см}^2$ , так как прочность и деформативность соединения зависит от неравномерности восприятия усилия зубьями по мере удаления от стыка, деформации поверхности пластины, возникновения дополнительного изгибающего момента из-за несимметричного расположения зубьев. Работа МЗП характеризуется следующими параметрами (рис. 1):

$X$  – главная ось МЗП;

$N$  – действующее усилие;

$\alpha$  – угол между осью МЗП и вектором силы  $N$ , определяющий расчетную несущую способность пластины при растяжении;

$\beta$  – угол между направлением волокон древесины и вектором силы  $N$ , определяющий расчетную несущую способность пластины;

$\gamma$  – угол между осью МЗП и линией стыка, определяющий расчетную несущую способность пластины при срезе.

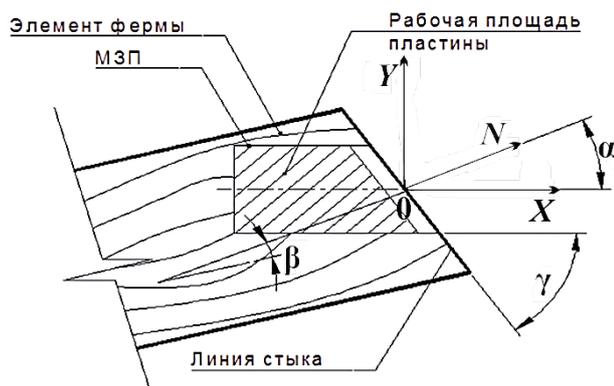


Рис. 1. Геометрические параметры МЗП

Учитывать углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  необходимо, так как пластина по-разному работает в разных направлениях. Несущая способность МЗП напрямую зависит от угла между главной осью пластины, осью действующего усилия и направлением волокон древесины. Таким образом, при компоновке узлов на МЗП следует знать углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , требуемую расчетную площадь МЗП и действующие усилия.

В ряде случаев позиционирование одной пластины (рис. 2, *а*) в узле является нерациональным решением: несущая способность пластины используется не в полной мере, а большая часть МЗП в расчете не учитывается. Оптимальным решением является позиционирование нескольких пластин (рис. 2, *б*). Такой подход позволяет максимально использовать площадь пластины и несущую способность МЗП за счет оптимального сочетания углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

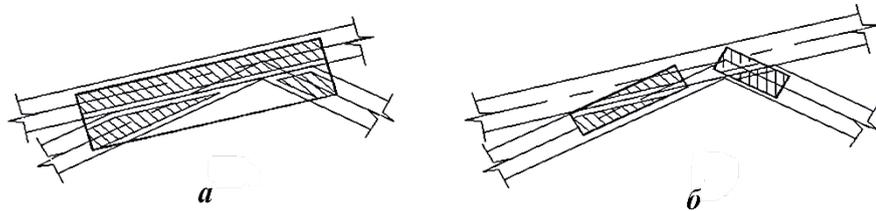


Рис. 2. Варианты размещения пластин в узле: *а* – одна пластина; *б* – несколько пластин

В рекомендациях по расчету конструкций на МЗП [6] приведен пример расчета узла, подобного приведенному на рис. 2. В качестве рационального решения предлагается расположить две пластины МЗП, ориентированные параллельно осям раскосов. При таком позиционировании углы  $\alpha$  и  $\beta$  – минимальны,  $\gamma$  – максимален, что дает большее значение расчетной несущей способности МЗП. При этом примерно в 2 раза снижается расход стали на МЗП, экономия в пересчете на всю конструкцию типа балочной фермы составляет около 30 %.

Выполнять такой расчет «вручную» неэффективно в виду большого количества узлов. Как правило, это приводит к большим запасам прочности и неоправданной унификации узлов [6].

Известные программные комплексы (Mitek [8], APM Wood [2]) для проектирования конструкций на МЗП имеют, на наш взгляд, существенные недостатки, главные из которых заключаются в следующем: отсутствует возможность оптимизации конструкции узла; нет средств для изменения расположения пластины в узле; не разработана возможность установки более одной пластины; методика расчета скрыта от проектировщика и ориентирована только на МЗП с известными характеристиками.

Разработанный в СПбГАСУ программный комплекс позволяет выполнять эти задачи и более эффективно проектировать деревянные строительные конструкции из МЗП. Ниже приводится оригинальная методика, разработанная авторами и положенная в основу нового программного комплекса УИИК [3].

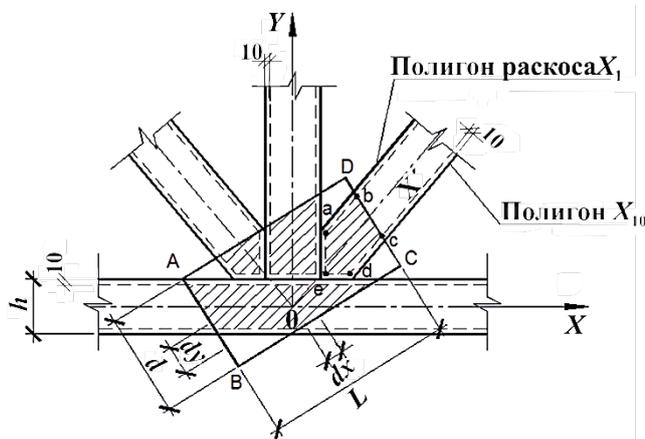


Рис. 3. Полигоны рабочих площадей МЗП

Для нахождения рабочей площади МЗП разработан детерминированный алгоритм, основанный на численных методах работы с полигонами и полуплоскостями. В качестве исходного используется полигон пластины ABCD  $X = \{pl = \langle d, l, \alpha, dx, dy \rangle\}$  (рис. 3).

1. Для определения рабочей площади одного элемента в узловом соединении полигон раскоса  $X_1$  уменьшается на полосу шириной 10 мм, параллельную грани стержня:  $X_{10} = X_1 \cap Poly_{10}(e)$ .

2. От полигона пластины  $X$  отсекаются полуплоскости, проходящие через границы полигона  $X_{10}$ :  $X_e = X \cap P_{ab} \cap P_{cd} \cap P_{de} \cap P_{ea}$ , где  $P_{ab}$ ,  $P_{cd}$ ,  $P_{de}$ ,  $P_{ea}$  – полуплоскости со сторонами ab, cd, de, ea соответственно.

3. Получившийся полигон  $X_e$  разбивается на треугольники, вычисляется его площадь по формуле Герона:

$$A_{pl} = \sum_e Area(X'_e),$$

которая и является искомой рабочей площадью МЗП.

Особенностью описанного алгоритма является моделирование практически любых узлов на МЗП. Для более эффективного расхода МЗП разработан функционал размещения двух и более пластин в узле с возможностью поворота (рис. 4). Важной особенностью позиционирования нескольких пластин является проверка связности конструкции, реализованная с помощью алгоритмов на графе. При повороте или перемещении МЗП относительно центра узла рабочая площадь пересчитывается автоматически. Такое представление компоновки узла позволяет наглядно проследить зависимость несущей способности узла от расположения МЗП.

Сильной стороной УИИК является интуитивно-понятный интерфейс, что позволяет без труда разобраться в функциональных возможностях вычислительного комплекса. Программа носит обучающий характер. Для помощи в проектировании и обучении разработаны компоненты, отвечающие этим задачам: окно динамических подсказок, строка бегущих сообщений, поле числового ввода и др.

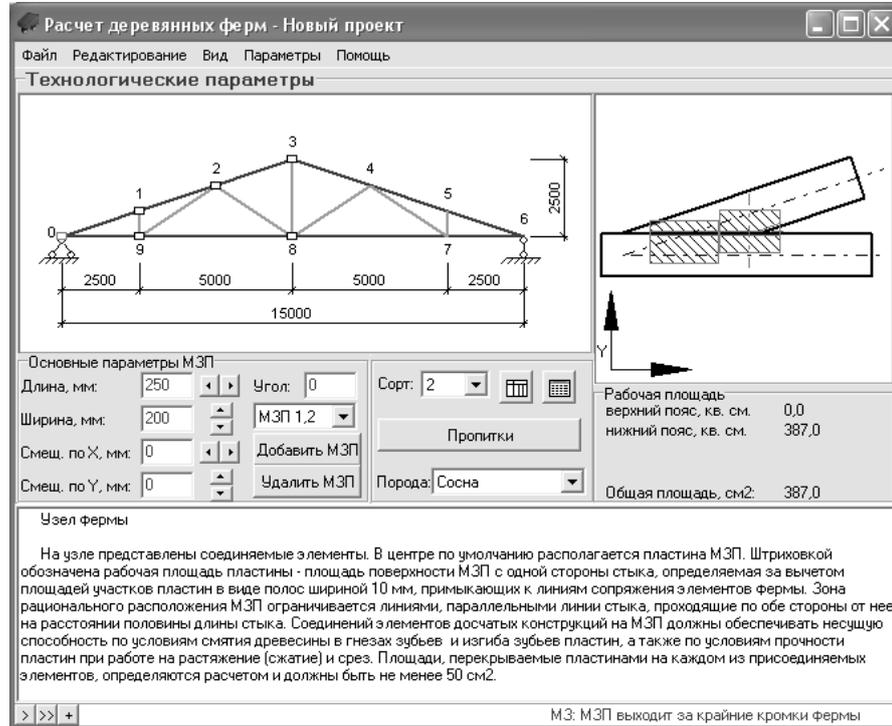


Рис. 4. Окно компоновки узлов «Технологические параметры»

В окне динамических подсказок даются пояснения по каждому параметру. Появление таких подсказок осуществляется наведением «мыши» на необходимый компонент. Бегущая строка динамических сообщений – еще один новый направляющий компонент, который отображает «мягкие» и «жесткие» запреты. Рекомендации к корректному расчету – мягкие запреты, выдаются зеленым цветом, а критические ситуации (например, выход МЗП за кромку фермы) – жесткие запреты, выдаются красным цветом.

Система таких запретов ведет пользователя к пассивному запоминанию информации путем многократного ее повторения. В этом состоит элемент обучения конструированию и расчету.

Для помощи в развернутом виде сформирована внутренняя программа-помощник, содержащая справочные и методические материалы, карты и нормативные документы, атлас строительных конструкций, что позволяет получить необходимый материал в нужный момент.

В программе используется интерактивный способ взаимодействия объектов по технологии WYSIWYG (What You See Is What You Get). Этот способ подразумевает мгновенное отображение изменений при вводе новых параметров.

Разработанный продукт предназначен для проектирования стержневых деревянных конструкций, а также для численного исследования плоскостных

систем с различным очертанием (геометрией). Проектировщик имеет свободу выбора нюансов проектного и конструктивного решений, возможность анализа своих ошибок, корректировки промежуточных и конечных результатов и сравнения их с передовыми и современными решениями. С его помощью можно провести автоматизированный расчет ферм на МЗП, оптимизировать расстановку пластин в узле, а также помочь начинающим специалистам освоить тонкости проектирования, повысить качество и точность проектной документации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арленинов Д.К., Буслев Ю.Н. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для техн. вузов. М.: Изд-во АСВ, 2002. 280 с.
2. НПЦ АПМ. Режим доступа: <http://www.apm.ru/rus/civil/#wood> (дата обращения 25.11.2011).
3. Павленко М.Н., Шмидт А.Б. Автоматизированная система проектирования и исследования деревянных конструкций на металлических зубчатых пластинах // Науч.-техн. вест. информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 1(77). С. 124–128.
4. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
5. Расчет композитных деревоклееных балок на основе применения инженерного метода / С.И. Рощина, М.В. Лукин, Б.В. Лабудин, В.И. Мелехов // Лесн. журн. 2012. № 3. С. 90–94.
6. Рекомендации по проектированию и изготовлению дощатых конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах / ЦНИИСК им. Кучеренко. М.: Стройиздат, 1983. 40 с.
7. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. М.: ОАО ЦПП, 2011. 87 с.
8. Mitek: Режим доступа: <http://www.mitek.ru/tech-mitek/istoriya-mitek.html> (дата обращения 25.11.2011).

Поступила 30.03.12

*A.B. Schmidt, M.N. Pavlenko*

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

#### **Some Features of Designing Wood Trusses with Toothed Metal Plates with Optimization of Joint Connections**

The article considers problems of designing wood trusses with toothed metal plates, related to the rational location of plates, determination of the working area of the plate, and overexpenditure of material. A software package able to solve these problems is suggested while it allows designing a truss for a minimum salary. An algorithm is developed to determine the working areas and means of rational distribution of the plate in the joint. We describe new components embedded in the system, a technology of interaction with the objects, as well as extensive assistance at any step of the work on designing.

*Key words:* automated system, software, carpentry, toothed metal plates.



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 667.662.271:553.612(088.)8

*А.А. Комиссаренков, Т.Л. Луканина*

С.-Петербургский государственный технологический университет  
растительных полимеров

Комиссаренков Алексей Алексеевич родился в 1945 г., окончил в 1968 г. Ленинградский технологический институт имени Ленсовета, кандидат химических наук, декан химико-технологического факультета, профессор кафедры аналитической химии С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 160 печатных работ в области синтеза и использования сорбентов, технологии производства целлюлозы, бумаги и картона.  
E-mail: kom-aa@yandex.ru



Луканина Татьяна Львовна окончила в 1981 г. Ленинградский технологический институт ЦБП, кандидат химических наук, доцент кафедры общей неорганической химии С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 90 печатных работ, том числе более 30 в области комплексной химической переработки древесины.  
E-mail: tat-lukanina@yandex.ru



### ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА МОДИФИЦИРОВАНИЯ КАОЛИНА ИОНАМИ АЛЮМИНИЯ

Представлены результаты сорбционного модифицирования каолина ионами алюминия в целях его отбеливания для дальнейшего применения в качестве наполнителя.

*Ключевые слова:* сорбционное модифицирование, каолин, ионы алюминия, комплексобразование.

Технология изготовления бумаги включает применение наполнителей, которые обеспечивают ей необходимые печатные свойства и удешевляют продукцию. Традиционным наполнителем в бумажном производстве является природный каолин  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  (состав:  $Al_2O_3$  – 39,50;  $SiO_2$  – 46,54;  $H_2O$  – 13,96 % мас.), представляющий собой тонкодисперсную глинистую породу, содержащую примеси, основные из которых – соединения кальция, гидроксиды и сульфиды железа и титана, снижающие белизну продукта, а также органические вещества [3].

Для отделения нежелательных примесей или перевода окрашенных форм железа в восстановленную форму используют физические (седимента-

ция, центрифугирование, магнитная сепарация, флотационная очистка, селективная флокуляция, термическая обработка) и химические методы (кислотная, окислительная или восстановительная обработка каолина). Сущность такой обработки состоит в деструктурирующем действии реагентов, когда деламинированный каолин, частицы которого в определенной степени разделены по спайности, является более реакционноспособным в процессах выделения примесных веществ из состава каолина или перевода примеси железа в восстановленную форму.

В ряде работ показана возможность получения алюминиевых форм каолина, в частности, путем его обработки солями алюминия. При этом на поверхности каолина осаждается гидроксид алюминия [2], который качественно изменяет характеристики суспензии каолина.

Каолин является слабокислотным катионообменным веществом, однако из-за отсутствия пористой структуры его обменная емкость, связанная только с дисперсностью, для наиболее распространенных образцов с совершенной кристаллической структурой не превышает 0,5 ммоль/100 г [5]. Поэтому вариант ионообменного взаимодействия каолина с соединениями алюминия, предложенный в работах [1, 2] не может рассматриваться как эффективный с точки зрения образования его Al-формы из-за низкой сорбционной емкости, особенно, в кислых средах.

Модифицирование каолина полиоксикатионами алюминия  $[Al_{13}O_4(OH)_{28}(H_2O)_8]^{3+}$  при содержании их в растворе, превышающем емкость катионного обмена каолина по ионам кальция в 12 раз, позволило увеличить долю ионообменно-замещенных ионов алюминия в составе каолина до 0,69 ммоль/г. При этом происходило изменение электрокинетического потенциала поверхности до +40 мВ, что трансформирует алюминиевую форму каолина в сорбент для поглощения фульвокислот [4].

В данной работе предлагается новый вариант отбелики каолина, состоящий в покрытии его поверхности соединениями алюминия методом сорбционного модифицирования [8], который обеспечил бы необходимую белизну каолина за счет полной экранировки всей поверхности глинистого материала частицами гидратированного алюмосиликата.

Сорбцию ионов алюминия на каолине проводили в статических условиях. В качестве реагента использовали  $Al_2(SO_4)_3$ , а в качестве комплексообразователей – 0,5 М сульфосалициловую кислоту и 0,10 и 0,25 М растворы глицерина при концентрации сульфата алюминия 0,127 и 0,025 моль/л и гидромодуле 100 и 25 соответственно. Время взаимодействия каолина с раствором соли алюминия в присутствии сульфосалициловой кислоты при комнатной температуре составляло 1 сут, при 95 °С – 4 ч при использовании глицерина. Синтез Al-формы каолина осуществляли также при взаимодействии раствора  $AlCl_3$  в безводном глицерине при температуре 180 °С, времени взаимодействия 30 мин и модуле 50. Концентрация ионов алюминия составляла 0,200 моль/л.

Растворы после сорбции декантировали, в них определяли содержание ионов алюминия (прямым титрованием с пиридил-азо-нафтолом [7]), кремневой кислоты [6] и жесткости [7].

На рис. 1 представлены данные по сорбции (содержанию) ионов алюминия из раствора сульфосалициловой кислоты каолином в зависимости от pH среды с параллельным определением растворимости основных компонентов твердой фазы. Эти данные свидетельствуют о сложном механизме взаимодействия ионов алюминия с каолином.

Показатель pH растворов после контакта с каолином уменьшается, что связано с катионообменным механизмом взаимодействия, возможной деструкцией макрорадикала алюмосиликата и выделением в раствор кремневой кислоты и ионов жесткости.

Максимальное содержание ионов жесткости в растворе, равное  $7,8 \cdot 10^{-3}$  моль/л, соответствует емкости сорбента 0,78 ммоль/г каолина, близкой к полученной в работе [8].

Если принять во внимание обменный механизм взаимодействия из расчета общего содержания ионов жесткости в растворе, эквивалентного сорбированным каолином ионам алюминия, то, как показывают расчеты, доля ионообменного вклада в общую емкость каолина составляет 5,5...11,5 %.

Уменьшение растворимости каолина (рис. 1, кривая 3) по ионам жесткости с увеличением pH приводит к снижению сорбции по ионам алюминия, что связано с ионным обменом. Одновременно с ростом pH наблюдается увеличение степени закомплексованности ионов алюминия в сульфосалицилатных растворах, что дополнительно снижает сорбционную емкость каолина.

Содержание кремневой кислоты в растворе обратно пропорционально содержанию сорбированных твердой фазой ионов алюминия, что может быть связано с участием кремневой кислоты в реакции с ионами алюминия и образованием алюмосиликатных структур, несмотря на низкую степень ионизации кислоты в кислой среде. Таким образом, взаимодействие ионов алюминия с каолином может быть обусловлено обменом ионов жесткости на ионы алюминия.

Кроме того, отмечено осаждение алюминия за счет образования малорастворимых гидроалюмосиликатов на поверхности каолина. Этот процесс составляет основную долю сорбционной емкости каолина и обусловлен растворимостью его кремнеземной части.

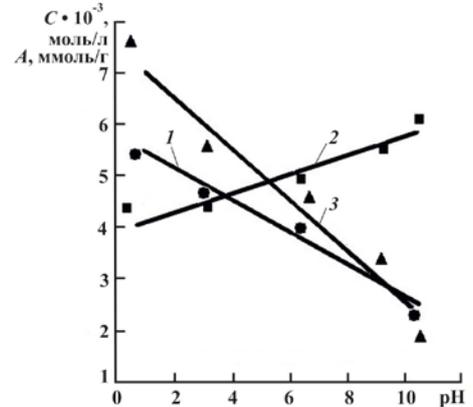
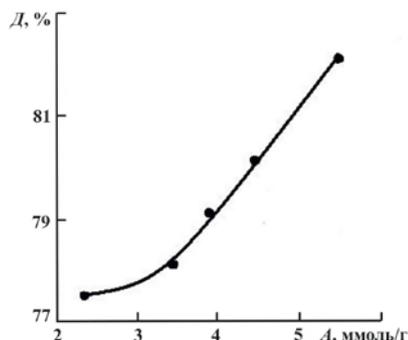


Рис. 1. Зависимость сорбции  $A$  ионов алюминия каолином (1) и концентрации  $C$  кремневой кислоты (2) и ионов жесткости (3) от pH

Рис. 2. Изменение белизны  $D$  каолина от содержания  $A$  ионов алюминия в твердой фазе



В процессе накопления ионов алюминия в твердой фазе изменяется белизна каолина (рис. 2). Существенное изменение белизны наступает при содержании ионов алюминия более 3 ммоль/г каолина.

Кинетика сорбции ионов алюминия каолином (рис. 3) в условиях максимальной сорбции (рН 0,66) показывает, что наблюдаются два этапа взаимодействия. На первом этапе (до 10 мин контакта) доминирует ионообменное взаимодействие между ионами жесткости и алюминия, далее идет процесс осаждения гидроалюмосиликата.

Достаточно высокая скорость реакции модифицирования каолина обусловлена непористой структурой и относительно высокой растворимостью каолина. Например, в первые минуты контакта каолина с раствором соли алюминия достигается равновесное или близкое к нему содержание кремневой кислоты, что предопределяет в дальнейшем процесс осаждения гидроалюмосиликата.

Обычно каолин в своем составе содержит 40...50 %  $\text{SiO}_2$ . В пересчете на  $\text{SiO}_2$  максимальная потенциальная емкость каолина, связанная с переосаждением кремнезема и образованием алюмосиликатных структур, должна быть 7...8 ммоль/г. В нашем случае, емкость, достигнутая за 1 сут контакта, составила 70...80 % от возможной емкости. Влияние комплексообразования на сорбцию ионов алюминия представлено данными по модифицированию каолина водными растворами сульфата алюминия и глицерина, образующего прочные комплексы с ионами алюминия.

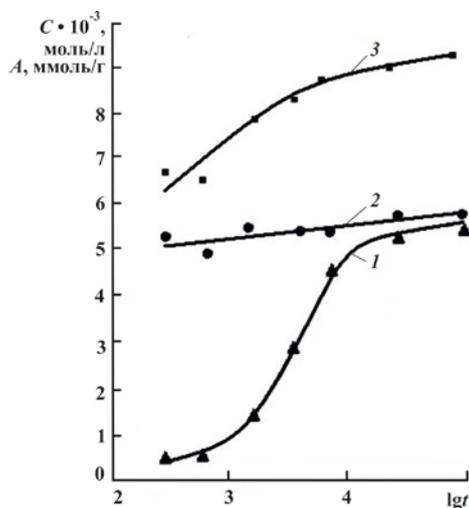


Рис. 3. Кинетика взаимодействия ионов алюминия с каолином из сульфосалицилатных растворов (см. обозначения на рис. 1)

В результате взаимодействия ионов алюминия с каолином в указанных условиях образуется А1-форма каолина, содержащая в составе твердой фазы 1,5 ммоль  $Al^{3+}$ /г каолина. Увеличение содержания глицерина в растворе, а также рН раствора приводят к уменьшению содержания свободных ионов алюминия за счет повышения степени закомплексованности. При этом снижается сорбция ионов алюминия (рис. 4). В данном случае наблюдается антибатная зависимость между сорбцией ионов алюминия и концентрацией солей жесткости.

Сорбционное модифицирование каолина ионами металлов с переводом его в соответствующую форму, вероятно, связано с поглощением свободных неассоциированных и незакомплексованных ионов металла. Увеличение степени связывания ионов-модификаторов снижает сорбцию и повышает белизну получающегося продукта.

Степень закомплексованности ионов металлов можно контролировать, подбирая комплексобразователь с определенными свойствами и концентрацией, а также изменяя рН раствора, который обеспечивает соответствующую диссоциацию комплексобразователя и перевод комплексных соединений в полиядерную форму.

Дополнительным фактором, способствующим изменению коэффициента ассоциации ионов, является подбор среды с соответствующей диэлектрической проницаемостью. Для изучения возможности ускорения процесса модифицирования каолина с целью получить его А1-форму сорбцию проводили из безводных растворов  $AlCl_3$  в глицерине при температуре 180 °С.

Процесс модифицирования осуществляли в статических условиях: навеска каолина – 2 г, объем раствора  $AlCl_3$  в глицерине – 100 см<sup>3</sup>. В связи с тем, что каолин является слабокислотным катионитом, для увеличения его емкости в глицерине в растворы добавляли КОН в количестве 0,5...2,0 г. Время взаимодействия – 0,5 ч.

На рис. 5 приведена линейная зависимость сорбции ионов алюминия каолином из неводных растворов от концентрации гидроксид-ионов  $C_{OH^-}$ . В течение 30 мин при  $C_{OH^-} = 8,9 \cdot 10^{-2}$  М сорбция превышает 5 ммоль/г сорбента, при  $C_{OH^-} = 0,36$  М она достигает 9 ммоль/г каолина за то же время, что соот-

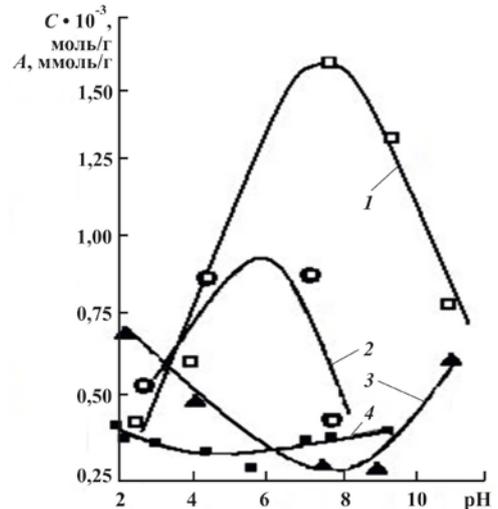
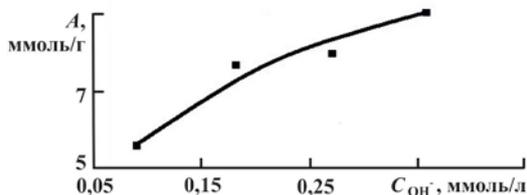


Рис. 4. Зависимость параметров  $A$  (1, 2) и  $C$  (3, 4) при сорбции из 0,10 М (1, 3) и 0,25 М (2, 4) растворов глицерина от рН

Рис. 5. Зависимость сорбции ионов алюминия каолином из раствора глицерина от концентрации  $C_{OH^-}$ -щелочи



ветствует практически полному превращению кремневой кислоты в составе каолина.

Повышенная скорость сорбции ионов алюминия связана с отсутствием гидратации в растворе глицерина, а также определенным содержанием гидроксид-ионов, деструктурирующих каолин и вовлекающих во взаимодействие дополнительное количество сорбируемых ионов алюминия [8].

По сравнению с исходным образцом белизна полученных образцов каолина увеличилась на 6 % и составила 83 %.

#### Выводы

1. Методом сорбционного модифицирования технического каолина ионами алюминия из водных и неводных растворов комплексообразователей впервые получены образцы его А1-формы, содержащие до 9 ммоль сорбированных ионов алюминия на 1 г каолина, что увеличивает белизну наполнителя на 6 % по сравнению с исходным образцом.

2. Установлено, что сорбция ионов алюминия из растворов комплексообразователей, включающих сульфосалициловую кислоту и 1,2,3-пропантриол, является сложной функцией степени закомплексованности металла, pH, диэлектрической проницаемости среды. Эти параметры обеспечивают выполнение условий осаждения ионов алюминия в виде алюмосиликатов кальция и магния на исходной, постоянно обновляющейся поверхности каолина. Данное явление происходит за счет растворения кремнеземной части и выделившихся в раствор солей жесткости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браун Г. Рентгеновские методы изучения структуры глинистых материалов. М.: Мир, 1965. 600 с.
2. Иванов В.А. Разделение смесей ионов щелочных металлов в колоннах на полифункциональном катионите по комбинированной схеме: автореф. дисс. ... канд. хим. наук. М., 1980. 16 с.
3. Лапин В.В., Данилова Д.А. Каолин и оптические свойства бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 156 с.
4. Лукьянова В.В. [и др.]. Адсорбция фульвокислоты на каолиновых сорбентах, модифицированных полиоксокаатионитами алюминия // Химия и технология воды. 2005. Т. 27, № 5. С. 415–425.
5. Тарасович Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых материалах. К.: Наук. думка, 1975. 300 с.

6. Унифицированные методы анализа вод / Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1971. 375 с.

7. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 254 с.

8. *Brindley G.W.* Relation between structural disorder and other characteristics of kaolinite and dickites // *Clays and Clay Minerals*. 1986. N 34. P. 239–249.

Поступила 27.04.12

*A.A. Komissarenkov, T.L. Lukanina*

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

#### **Study of the Modification of Kaolin by Aluminum Ions**

The paper presents the results of sorption modification of kaolin by aluminum ions for its bleaching in order to use it as a filler.

*Key words:* sorption modification, kaolin, aluminum ions, complexing.

УДК 676.038.2/026.72

**Р.Х. Хакимов, Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Хакимов Рашид Харисович родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Пермский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета. Имеет более 50 печатных работ в области переработки макулатуры и древесных отходов.  
E-mail: hakimov@nm.ru



Хакимова Фирдавес Харисовна окончила в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 150 печатных работ в области теории и технологии целлюлозы.  
E-mail: tcbp@pstu.ru



Ковтун Татьяна Николаевна окончила в 1975 г. Пермский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета. Имеет более 90 печатных работ в области теории и технологии целлюлозы.  
E-mail: tcbp@pstu.ru



## **ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРГАТОРА ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАКУЛАТУРЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОМПОЗИЦИЯХ БУМАГИ И КАРТОНА**

Изучена возможность и целесообразность применения при подготовке макулатурной массы аппарата (диспергатора) вместо традиционного оборудования. Показано, что это позволяет сохранить длину волокна макулатуры, улучшить показатели качества макулатурной массы, упростить технологическую схему потока, снизить расходы свежей воды и электроэнергии.

*Ключевые слова:* макулатура, переработка макулатуры, диспергатор, роспуск, сортирование, длина волокон, фракции, механические показатели, технологическая схема, расход электроэнергии.

Важнейшая задача целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) – наиболее полное и комплексное использование древесного сырья. Особенно актуально это для европейской части РФ, где много целлюлозно-бумажных предприятий, а запасы древесины ограничены. Наиболее существенным способом повышения комплексности использования древесного

сырья является рост потребления макулатуры в производстве полуфабрикатов для бумаги и картона. Этому же способствует ужесточение экологических требований, в частности, к полной утилизации твердых отходов ЦБП. Однако рост использования макулатуры ограничивается: дефицитом вторичного волокнистого сырья вследствие низкого уровня производства и потребления бумаги и картона в стране, несовершенства системы сбора и сортирования макулатуры; использованием в промышленности морально устаревшего и физически изношенного оборудования для переработки макулатуры.

В связи с этим особый интерес представляет применение современной аппаратуры для переработки макулатуры.

В данной работе предложено при подготовке макулатурной массы использовать новый для этого производства аппарат – диспергатор [1, 4].

На рис. 1 представлена схема предлагаемой установки для диспергирования макулатуры [2].

Диспергатор – компактный аппарат, в котором происходит процесс измельчения. Вращающийся ротор с радиальными лопатками создает в аппарате вихревое движение воздуха. Отбор готового продукта осуществляется из центра аппарата под действием вакуума, подключаемого к каналу отбора измельченной массы. В результате происходит наложение радиального и вихревого движения воздуха. При определенном соотношении скоростей вращения ротора и продува воздухом осуществляется сепарация готового продукта, при этом крупные и влажные частицы не будут выноситься из аппарата, так как обладают большей инерцией, чем мелкие и сухие. Скорость движения частиц отличается от скорости движения ротора, что обеспечивает необходимое измельчение материала.

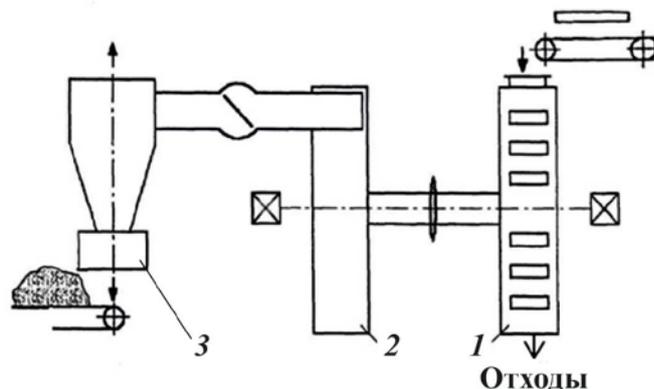


Рис. 1. Схема устройства для роспуска волокнистых материалов: 1 – диспергатор, 2 – вентилятор, 3 – циклон

Поток воздуха регулируется таким образом, что из аппарата выносятся только единичные волокна. Куски макулатуры и пучки волокон циркулируют в аппарате до тех пор, пока не будут распущены до отдельных волокон.

Продолжительность механического воздействия на макулатуру в зоне роспуска составляет 40...60 с. Более тяжелые примеси (камни, куски пленок, жгутики из скотча), оседающие в пространстве между корпусом аппарата и кожухом, необходимо периодически удалять. Такие особенности аппарата позволяют значительно упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы и сделать ее более экономичной.

Необходимо определить качество макулатурной массы, получаемой с использованием данного аппарата, в сравнении с макулатурной массой традиционной подготовки. В качестве объекта для сравнения принята технология подготовки макулатурной массы на ООО «Пермский картон». Для исследований использована макулатура – отходы производства и потребления гофрированного картона.

Подготовка макулатурной массы на данном предприятии включает следующие операции: роспуск макулатуры в гидроразбивателях; очистка полученной массы от тяжелых частиц на очистителях ОМ-03; дополнительная очистка массы от легких включений в турбосепараторе; сгущение; размол в дисковых мельницах; регулирование концентрации полученной массы; подача в картонно-бумажный цех.

Результаты подготовки макулатурной массы на ООО «Пермский картон» и по предлагаемому варианту сравнивали, оценивая средневзвешенную длину волокна, распределение волокон фракции по длине, показатели механической прочности отливок из макулатурной массы, т.е. показатели, имеющие наибольшее значение в производстве бумаги и картона.

Кроме того, использовали также образец исходной макулатуры, отобранный со склада предприятия. Подготовка данного образца в лабораторных условиях включала лишь увлажнение, роспуск в лабораторном дезинтеграторе, сортирование от крупных включений.

На рис. 2 представлены гистограммы распределения на фракции волокон по длине и средневзвешенной длине волокна. Эти показатели определены на лазерном анализаторе Kajaani FS200 фирмы «Metso».

Как следует из приведенных данных, сравниваемые образцы по средневзвешенной длине волокна различаются незначительно, однако этот показатель выше у образца, полученного в диспергаторе. Фракционный состав сравниваемых образцов макулатурной массы в зависимости от способа ее подготовки несколько отличается.

Для сравнения волокна по длине распределяли на три фракции:

А – сумма мелких волокон (длина от 0 до 0,8 мм);

В – сумма волокон средней длины (от 0,8 до 2,4 мм), на долю которых приходится от 54 до 61 %;

С – сумма длинных волокон (от 2,4 до 3,6 мм).

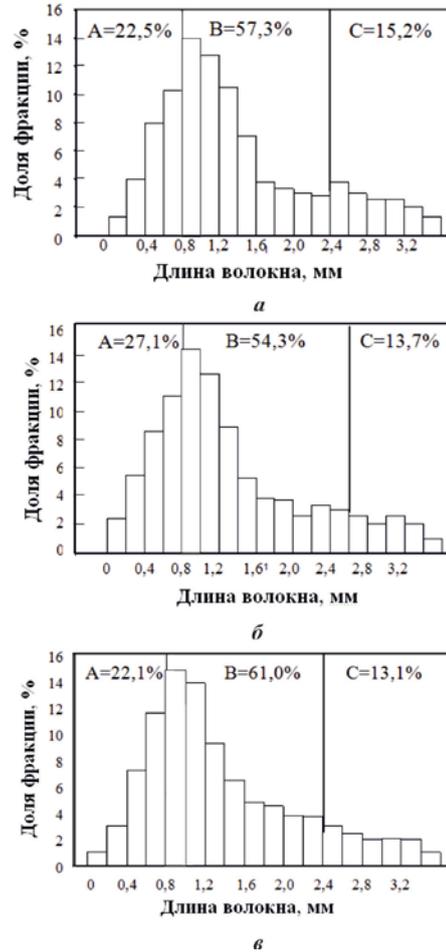


Рис. 2. Распределение на фракции по длине волокон массы из исходной макулатуры (*a*), макулатурной массы, отобранной из технологического потока предприятия (*б*) и распущенной на диспергаторе (*в*)

Как видно из гистограмм, в исходной макулатурной массе (образец № 1, рис. 2, *a*) мелких волокон содержится 22 %, волокон средней длины – 57 %, длинных волокон – 15 %.

При подготовке макулатурной массы на предприятии (образец № 2, рис. 2, *б*) заметно (на 5 %) увеличилось количество мелкой фракции; количество волокон средней длины сократилось, очевидно, за счет измельчения части волокон и перехода их в мелкую фракцию; доля длинной фракции также уменьшилась, но незначительно.

При роспуске в диспергаторе (образец № 3, рис. 2, в) количество мелкой фракции осталось без изменения; за счет уменьшения доли длинной фракции значительно увеличилось количество фракции средней длины.

Во всех трех образцах наибольшее количество (60...62 %) составляют волокна длиной 0,4...1,6 мм.

При сравнении способов подготовки макулатурной массы установлено, что доля фракции длинных волокон изменяется одинаково в обоих случаях, а доля мелкой фракции заметно увеличивается в процессе, который проходил в производственных условиях. В случае использования диспергатора наибольшая доля приходится на волокна средней длины.

В таблице приведены показатели механической прочности сравниваемых образцов макулатурной массы. Поскольку макулатурная масса может быть использована как в производстве картона, так и бумаги для гофрирования, определены и показатели, нормируемые для флютинга.

Определение средневзвешенной длины волокна проведено как на установке Кажаани FS200 фирмы «Metso», так и на аппарате Иванова.

Показатель	Значения показателя для образца макулатуры			Норма для марки БО (100±5 г/м <sup>2</sup> )
	исходного	отобранного из потока ООО «Пермский картон»	распущенного в диспергаторе	
Номер образца	1	2	3	–
Степень помола, °ШР	23	24	23	28...35
Средневзвешенная длина волокна, мм:				
на установке Кажаани FS200	2,16	2,13	2,15	–
на аппарате Иванова	2,33	2,25	2,30	–
Показатели механической прочности (100 г/м <sup>2</sup> ):				
удельное сопротивление разрыву, кН/м	5,99	5,52	5,96	Не менее 6,0
разрывная длина, м	5730	5580	5950	–
сопротивление излому, ч.д.п.	1400	1610	1730	–
сопротивление продавливанию, кПа	390	344	380	Не менее 195
сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца бумаги, Н	174	173	176	Не менее 180
сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца бумаги, кН/м	1,20	1,24	1,30	Не менее 0,8

Как следует из приведенных данных, по абсолютной величине результаты определения на аппарате Иванова несколько выше, чем на установке Kajaani FS200.

Длина волокна при определении любым способом получается несколько выше в случае подготовки макулатурной массы с роспуском в диспергаторе. При этом и все показатели механической прочности для этого образца выше. Несмотря на то, что все образцы макулатурной массы имели степень помола заметно ниже, чем задано технологическим регламентом (23...24 вместо 28...35 °ШР), ряд показателей механической прочности получены на уровне требований норм для массы 1 м<sup>2</sup> 100 г, некоторые выше требований норм. Показатель удельного сопротивления разрыву – на нижнем уровне требований норм, так как он нормируется для машинного направления, а в лабораторных условиях получены отливки на листоотливном аппарате с равномерными показателями во всех направлениях. Также на нижнем уровне находится и показатель сопротивления плоскостному сжатию, однако его численное значение совпадает с показателем для исходной макулатурной массы, т.е. в процессе подготовки он не изменяется.

Таким образом, при подготовке макулатурной массы в случае использования диспергатора вместо традиционного оборудования (гидроразбиватель в сочетании с несколькими ступенями очистки) получена

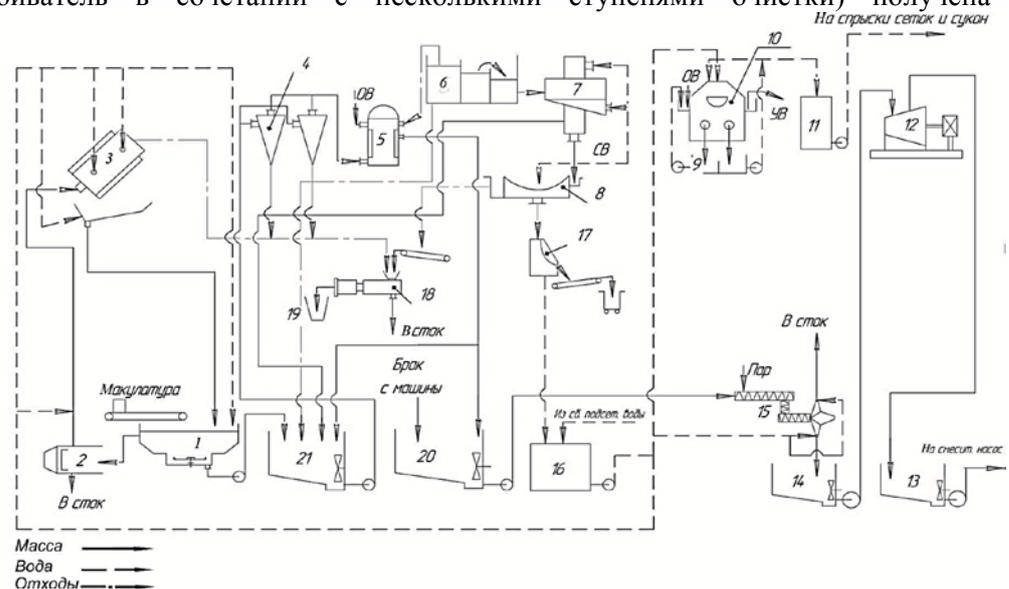


Рис. 3. Технологическая схема подготовки макулатурной массы на ООО «Пермский картон»: 1 – гидроразбиватель; 2 – аппарат для дороспуска массы; 3 – барабанная сортировка; 4 – очиститель высокой концентрации; 5 – ультрасортировка; 6 – бак постоянного напора; 7 – сепаратор; 8 – вибрационная сортировка; 9 – емкость мутного и светлого фильтрата; 10 – дисковый фильтр; 11 – сборник осветленной воды; 12 – коническая мельница; 13 – приемный бассейн; 14 – бассейн после термодисперсионной установки (ТДУ); 15 – ТДУ; 16 – сборник оборотной воды; 17 – дуговое сито; 18 – уплотнитель отходов; 19 – бункер отходов; 20 – бассейн после сортировки; 21 – масляный бассейн

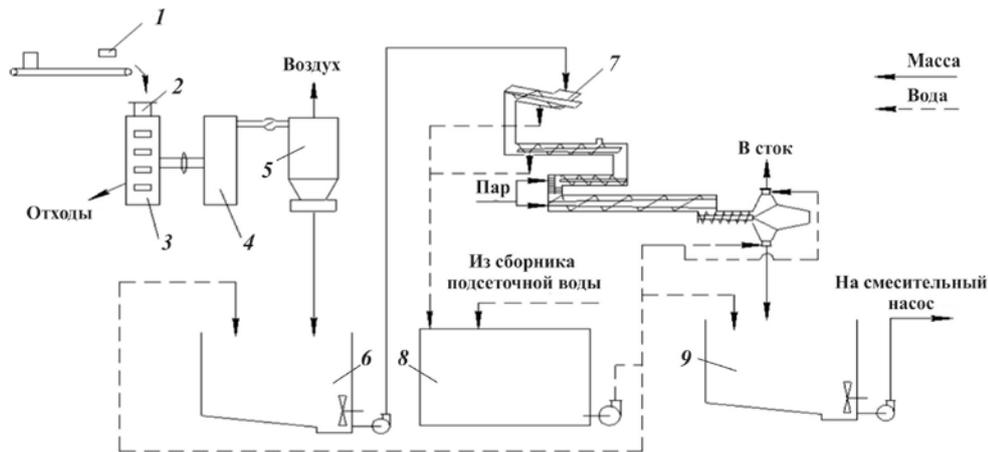


Рис. 4. Технологическая схема подготовки макулатурной массы с использованием диспергатора: 1 – постоянный магнит; 2 – воронка диспергатора; 3 – диспергатор; 4 – вентилятор; 5 – циклон; 6 – промежуточный бассейн массы; 7 – термодисперсионная установка; 8 – сборник оборотной воды; 9 – бассейн готовой массы

макулатурная масса, по качеству не уступающая массе ООО «Пермский картон»: сохраняется длина волокон макулатуры и все показатели этой массы превышают соответствующие показатели макулатурной массы производственного потока.

Одновременно диспергатор заменяет в подготовке макулатурной массы для производства бумаги и картона гидроразбиватели и основную часть сортировочного оборудования, что значительно упрощает схему потока, снижает расход свежей воды и электроэнергии.

Для сравнения приведены две технологические схемы переработки макулатуры: по традиционному (гидродинамическому) [3] и сухому способам (рис. 3 и 4). Из схем видно, что при переработке макулатуры традиционным способом используется большое количество энерго- и водоемкого оборудования. Применение диспергатора значительно упрощает технологическую схему и сокращает количество единиц оборудования в технологическом потоке, что снижает капитальные затраты и себестоимость макулатурной массы.

Удельный расход электроэнергии на подготовку 1 т макулатурной массы в случае роспуска в дезинтеграторе сопоставим с удельным расходом на ООО «Пермский картон».

Таким образом, использование в подготовке макулатурной массы нетрадиционного оборудования – диспергатора – целесообразно при переработке макулатуры из гофрокартона. Это позволяет упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы и улучшить экономические показатели производства при получении массы одинакового качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование возможности роспуска газетной макулатуры полусухим способом / Б.В Акулов., Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун, Р.Х Хакимов // Химия растит. сырья. 2010. № 3. 167–172.
2. Оборудование для производства эковаты: сайт ООО «Полимер+». 2008. Режим доступа: <http://dispergator.com/ECO.htm> (дата обращения: 16.02.2012).
3. Технологический регламент №21-3. Подготовки массы из макулатуры и целлюлозы. Пермь: ООО «Пермский картон», 2011г. 37 с.
4. Хакимов Р.Х., Ермаков С.Г. К проблеме переработки древесных отходов. Пермь: Изд-во Пермс.гос.техн. ун-та. 1997. бс. Деп. в ВИНТИ 21.04.97, №1340-В97

Поступила 15.03.12

**R.Kh. Khakimov, F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun**

Perm National Research Polytechnic University

**Preparing of Wastepaper by Aerodynamic Disintergrator for Using in Paper and Board Composition**

We have studied the possibility and rationality of using a modern and more efficient device, disperser, for wastepaper preparation instead of the traditional equipment. It has been proved that using a disperser one can preserve wastepaper's fiber length, improve the quality properties of wastepaper pulp, simplify the technological scheme, as well as reduce fresh water and power consumption.

*Key words:* wastepaper, wastepaper recycling, disperser, repulping, screening, fiber length, fractions, mechanical properties, technological scheme, power consumption.

УДК 630.0.866.1:674.87<sup>3</sup>

**В.В. Мирошниченко<sup>1</sup>, Н.А. Осмоловская<sup>1</sup>, В.Н. Паршикова<sup>1</sup>, Р.А. Степень<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Красноярский государственный торгово-экономический институт

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

Мирошниченко Вера Владимировна окончила в 1983 г. Красноярский политехнический институт, в 2005 г. Красноярский государственный торгово-экономический институт, старший преподаватель кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Красноярского государственного торгово-экономического института СФУ. Имеет 20 печатных работ, в том числе 10 по микроволновой экстракции хвойных эфирных масел.

E-mail: d3kv17@yandex.ru



Осмоловская Наталья Алексеевна окончила в 1999 г. Красноярский государственный торгово-экономический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров КГТЭИ СФУ. Имеет 20 печатных работ, в том числе 14 по проблеме исследования товарных продуктов кедрового сибирского.

E-mail: metod@mail.kgtei.ru



Паршикова Валентина Никитична окончила в 1972 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Красноярского государственного торгово-экономического института СФУ. Имеет около 200 печатных работ, в том числе 50 по проблеме исследования товарных продуктов кедрового сибирского.

E-mail: pvn@kgtei.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 РАЕН. Имеет 300 печатных работ в области экологии.

E-mail: Stepen.rob@yandex.ru



## **СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ОТГОНКИ ХВОЙНЫХ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ МЕТОДОМ СВЧ ТЕХНОЛОГИИ И ГИДРОДИСТИЛЛЯЦИИ**

Приведены данные о количественном и качественном составе и свойствах эфирных масел, полученных из древесной зелени пихты сибирской и кедрового сибирского, с применением микроволновой технологии.

*Ключевые слова:* эфирное масло, гидродистилляция, древесная зелень, фракционный состав, микроволновая технология, цитотоксичность.

Паровая отгонка – единственный способ получения эфирного масла из хвойной древесной зелени [4]. В связи с этим возмржность применения других способов, в частности СВЧ технологии, представляет значительный интерес.

© Мирошниченко В.В., Осмоловская Н.А., Паршикова В.Н., Степень Р.А., 2013

Объектом исследования служила древесная зелень пихты сибирской и кедра сибирского, отобранная в октябре со средней части крон 15 деревьев 100–120-летнего возраста. В опытах использовали охвоенные побеги (диаметр в отрубе 8 мм), которые измельчали и перемешивали. Из 100 г такого сырья методами гидродистилляции в аппарате Клевенджера и СВЧ нагрева в камере лабораторной микроволновой установки (мощность 500 Вт, частота 2,45 ГГц, напряжение 225 В) отгоняли эфирное масло при соотношении сырья и добавленной в колбу воды 1:1. Влажность сырья определяли по потере веса навеской после обработки в сушильном шкафу, выход масла – волюмометрически с учетом его растворимости в жидких отходах. Содержание основных компонентов эфирных масел оценивали методом ГЖХ: хроматограф Хром-5, колонка – 200×3 мм, неподвижная фаза – SE-30, 5 % на хроматоне А зернением 0,20...0,25 меш.; температура термостата – 135 °С, детектор – пламенно-ионизационный; газ-носитель – гелий; скорость потока – 40 мл/мин; объем пробы – 0,2 мкл. Выделяли монотерпеновую, кислородсодержащую и сесквитерпеноидную фракции. Кроме того, в составе эфирных масел определяли вклад нетерпеноидных продуктов. Остальные физико-химические показатели определяли по общепринятым методикам: внешний вид, цвет и запах – органолептически, кислотные и эфирные числа – титрометрически, плотность – пикнометрически, коэффициент преломления – рефрактометрически. Анализ микробиологического действия проводили в сертифицированной микробиологической лаборатории Научного косметологического общества г. Новосибирска по методикам [1].

Серьезным недостатком традиционных технологий получения эфирного масла является продолжительное пребывание древесной зелени в высокотемпературной зоне, что ведет к осмолению терпеноидов. Это обусловлено необходимостью отгонки терпеноидов, связанных в комплексы с другими компонентами сырья. Снижение температуры процесса отгонки уменьшает выход масла. Последнего в значительной мере удается избежать при использовании СВЧ технологии. Особенности технологии микроволнового нагрева – выделение теплоты во всем объеме емкости и однонаправленность градиентов температуры и давления [6], благодаря чему достигается ускорение массообменных процессов, что благоприятствует качественной отгонке масла из растительного сырья.

Согласно полученным результатам, важным преимуществом СВЧ технологии является существенное ускорение отгонки эфирного масла. Если при гидродистилляции в лабораторных условиях для достаточно полной отгонки масла из древесной зелени требуется около 3 ч, то при использовании СВЧ источника процесс заканчивается в течение 30...35 мин, т.е. в 5–6 раз быстрее. Дополнительное преимущество – комфортность обслуживания, которая обусловлена низкими тепловыми потерями при преобразовании микроволновой энергии в тепловую и соответственно незначительным нагревом стенок волноводов и рабочей камеры.

Результаты отгонки свидетельствуют, что применение СВЧ технологии на 15...20 % повышает выход эфирного масла из древесной зелени хвойных пород по сравнению с традиционным методом. Предполагается, что выход возрастает не только благодаря полноте выделения свободных терпеноидов из объема частиц сырья на их поверхность в связи с ускорением массообменных процессов, но и за счет эффективной деструкции комплексов с высвобождением этих соединений.

Согласно ранее проведенным [2, 3] и настоящим исследованиям, компонентный состав сравниваемых эфирных масел практически одинаков, хотя соотношение их фракций несколько отличается. Средние данные серии из 5 опытов при одинаковой продолжительности отгонки по выходу эфирного масла пихты и кедра и вкладу основных групп компонентов приведены в таблице.

Выделенное по СВЧ технологии масло несколько беднее монотерпеновыми углеводородами и богаче кислородсодержащими и сесквитерпеноидными соединениями, чем гидродистилляционные продукты. Отсюда следует, что при СВЧ нагреве полнее отгоняются труднолетучие компоненты, повышенный вклад которых снижает долю монотерпенов в маслах. Однако эти расхождения проявляются лишь в виде тенденции и перекрываются отклонениями в содержании этих соединений в отдельных опытах. В обоих исследованных маслах (пихты и кедра), выделенных по СВЧ технологии, отмечается существенное снижение вклада борнилацетата и повышение доли борнеола. Происходящие превращения логично объясняются разрывом сравнительно слабых сложноэфирных связей хвойных масел под действием микроволнового излучения.

**Влияние способа отгонки на технологические параметры и состав хвойных эфирных масел**

Показатель	Пихтовое масло	Кедровое масло
Продолжительность, мин	32±1/175±5	33±1/175±5
Выход масла, % от а.с.с.	2,67±0,05/2,20±0,01	1,91±0,03/1,65±0,03
Дисперсия изменения $\sigma_x$	0,123/0,093	0,065/0,057
Коэффициент вариации $v$ , %	4,59/4,34	3,11/3,47
Вклад компонентов групп, % от суммы:		
монотерпены	53,7±2,5/60,9±2,3	86,9±2,2/90,2±3,1
кислородсодержащие соединения	38,2±2,0/33,2±1,6	5,2±0,8/3,9±0,3
в том числе:		
борнеол	6,5±1,0/1,2±0,4	1,1±0,3/0,7±0,2
борнилацетат	19,6±1,7/22,5±2,1	1,0±0,2/1,6±0,3
сесквитерпеноиды	7,4±0,4/5,2±0,3	7,1±0,9/5,3±1,1
нетерпеноидные соединения	0,7±0,1/0,7±0,1	0,8±0,1/0,6±0,1

Примечание. В числителе приведены данные по СВЧ нагреву, в знаменателе – по гидродистилляции.

Органолептические и физико-химические показатели эфирных масел пихты и кедра, полученных сравнимыми способами, отличаются незначительно. Вместе с тем для «микроволнового» пихтового эфирного масла свойственна важная специфика: его цитотоксичность по отношению к нативному вирусу группы А (штамм H5N1) вдвое превышает действие гидродистилляционного масла [5].

Результаты исследований свидетельствуют о сокращении продолжительности и повышении выхода пихтового и кедрового масел, полученных при СВЧ нагреве, по сравнению с гидродистилляционным способом, а также об изменении их состава.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Децина А.Н. Теория мягких косметических воздействий. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХ, 2001. 505 с.
2. Медведев С.О., Степень Р.А., Соколов С.В. Развитие современного лесопромышленного кластера в Красноярском крае // Лесн. журн. 2011. № 4. С.131–136. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Осмоловская Н.А., Паршикова В.Н., Степень Р.А. Утилизация древесной зелени кедра сибирского с получением нативных продуктов // Лесн. журн. 2008. № 1. С. 137–142. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Паршикова В.Н., Степень Р.А. Ресурсосберегающие технологии и потребительские свойства эфирных масел. Красноярск: КГТЭИ, 2006. 258 с.
5. Пат. 2370272. Способ получения биологически активного препарата из древесной зелени пихты сибирской / В.Н. Паршикова и др. Заявл. 25 нояб. 2008 г.; зарегистр. 20 окт. 2009 г.
6. Рахманкулов Д.Л., Шавишуква С.Ю., Латыпова Ф.Н. Применение микроволнового излучения для ускорения процессов в химии и химической технологии // Достижения и перспективы хим. науки. Казань, 2003. С. 406.

Поступила 28.09.11

*V.V. Miroshnichenko<sup>1</sup>, N.A. Osmolovskaya<sup>1</sup>, V.N. Parshikova<sup>1</sup>, R.A. Stepen<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Institute of Trade and Economy

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

#### **Comparison of Pine Oil Distillation Methods of Microwave Technology and Hydrodistillation**

The article provides data on qualitative and quantitative composition and properties of volatile oils from wood green of Siberian fir and cedar, obtained by microwave technology.

*Key words:* volatile oil, hydrodistillation, wood green, fractional composition, microwave technology, cytotoxicity.

УДК 676. 024. 61

***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 ЦБП УГЛТУ. Имеет около 150 печатных работ в области динамики оборудования ЦБП.  
E-mail: cbp200558@mail.ru



## **КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НОЖЕЙ ГАРНИТУРЫ МЕЛЬНИЦ С ВОЛОКНИСТЫМ ПОЛУФАБРИКАТОМ**

Рассмотрена механика контактного взаимодействия ножей гарнитуры с учетом специфических особенностей волокнистой прослойки. Получена математическая модель, связывающая параметры контакта ножей гарнитуры и волокнистой прослойки.

*Ключевые слова:* контактное взаимодействие, ножи, волокнистая прослойка.

В механике деформируемого твердого тела контактное взаимодействие является одним из ведущих направлений. Исследование модели контактного взаимодействия гарнитуры актуально в связи с внедрением новых материалов и технологий, предъявлением новых требований к условиям и срокам эксплуатации гарнитуры. Научный интерес к этой проблеме обусловлен многообразием процессов и явлений, протекающих при размоле в ножевых мельницах. Известно много работ Ю.Д. Алашкевича, В.Н. Гончарова, Е.Е. Савицкого, В.И. Ковалева и др., посвященных этой проблеме.

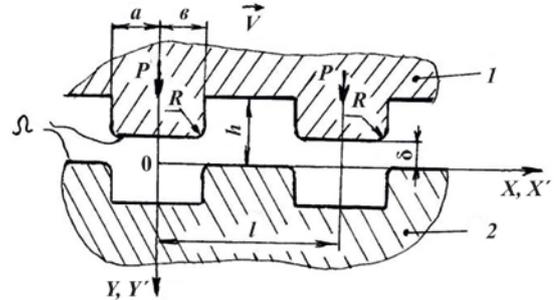
Цель работы – исследование контактного взаимодействия ножей гарнитуры с учетом специфических особенностей волокнистой прослойки.

Рассмотрим скольжение абсолютно жестких ножей по поверхности полуфабриката (рис. 1). Ножи ротора скользят относительно статора со скоростью  $\vec{V}$ . Форма рабочей поверхности контакта ножей описывается периодической функцией  $f(x, z)$ . Введем неподвижную систему координат  $x', y', z'$  так, что ее начало в момент времени  $t = 0$  будет расположено по оси ножа. Ось  $x'$  направлена вдоль вектора скорости  $\vec{V}$ , а ось  $y'$  – в глубь волокнистой прослойки. Также введем систему координат  $x, y, z$ , связанную с ротором и двигающуюся со скоростью  $\vec{V}$ .

Будем считать, что движение установившееся. В зоне контакта  $\Omega$  выполняется условие

$$w(x, z) = \delta + f(x, z); \quad (x, z) \in \Omega,$$

Рис. 1. Схема контактного взаимодействия ножей: 1 – ротор; 2 – статор



где  $w(x, z)$  – нормальные перемещения границы волокнистой прослойки вследствие ее деформирования;

$\delta$  – межножевой зазор.

Контактное давление, возникающее при перекрещивании ножей ротора и статора  $p(x, z)$  вне площадок периодического контакта  $(-a(z), b(z))$  равно нулю:

$$p(x, z) = 0; (x, z) \notin \Omega; p(-a(z)) = p(b(z)) = 0. \quad (1)$$

Нормальные перемещения и давление по координате  $x$  удовлетворяют условиям периодичности на поверхности  $(x, z)$ :

$$w(x, z) = w(x + l, z); p(x, z) = p(x + l, z), \quad (2)$$

где  $l$  – шаг ножей гарнитуры.

Уравнение равновесия для каждого ножа:

$$\iint_{\Omega} p(x, z) dx dz = P, \quad (3)$$

где  $P$  – нагрузка на один нож.

В качестве модели волокнистой прослойки (вязкоупругого слоя между ножами) используется модель Максвелла–Кельвина [1]. Для этой модели нормальные перемещения слоя  $w(x, z)$  связаны с давлением  $p(x, z)$  следующим соотношением [3]:

$$w(x', z', t) + T_{\varepsilon} \frac{dw(x', z', t)}{dt} = \frac{(1-\nu^2)h}{E_e} \left( p(x', z', t) + T_{\sigma} \frac{dp(x', z', t)}{dt} \right), \quad (4)$$

где  $T_{\varepsilon}$ ,  $T_{\sigma}$  – время релаксации и последействия;

$\nu$  – коэффициент Пуассона;

$E_e$  – длительный модуль упругости.

Отношение толщины слоя к приведенному модулю  $h/E^*$  характеризует податливость слоя волокнистой прослойки, а мгновенный модуль упругости  $E_1$  определяется соотношением  $T_{\varepsilon} E_e / T_{\sigma}$ . Приведенный модуль

$$E^* = \frac{E_e}{1-\nu^2}. \quad (5)$$

В системе координат  $(0, x, y, z)$ , связанной с движением ножей ( $x = x' - Vt$ ;  $y = y'$ ;  $z = z'$ ;  $V = \omega r$ ), компоненты вектора смещений  $u_i$  и тензора напряжений  $\sigma_{ij}$  не зависят явно от времени и являются функциями координат  $(x, y, z)$ . Компоненты тензоров деформаций и напряжений в дви-

жущейся  $(0, x, y, z)$  и неподвижной  $(0, x', y', z')$  системах координат связаны между собой следующими уравнениями [2]:

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{ij} + T_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon'_{ij}}{\partial t} &= \varepsilon_{ij} - T_\varepsilon V \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial x} = \varepsilon^*_{ij}; \\ \sigma'_{ij} + T_\sigma \frac{\partial \sigma'_{ij}}{\partial t} &= \sigma_{ij} - T_\sigma V \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x} = \sigma^*_{ij}; \\ u_i - T_\varepsilon V \frac{\partial u_i}{\partial x} &= u^*_i; \\ p(x) - T_\sigma V \frac{\partial p(x)}{\partial x} &= p^*(x). \end{aligned} \quad (6)$$

Функции  $\varepsilon^*_{ij}$ ,  $\sigma^*_{ij}$  удовлетворяют эквивалентным уравнениям совместности деформаций.

В подвижной системе координат соотношение (4) имеет следующий вид:

$$w(x, z) - T_\varepsilon V \frac{dw(x, z)}{dx} = \frac{h}{E^*} \left( p(x, z) - T_\sigma V \frac{dp(x, z)}{dx} \right). \quad (7)$$

Для решения трехмерной контактной задачи воспользуемся методом полос [4]. Разобьем зону контакта ножей на  $2N$  тонких полос, параллельных направлению скольжения. Для каждой полосы будем решать соответствующую плоскую периодическую задачу, пренебрегая при этом их взаимодействием. На рис. 2 изображены две соседние плоскости контакта и характерная полоса шириной  $\Delta z$  с номером  $j$ , находящиеся на расстоянии  $z_j$  от оси  $x$  ( $z_{\max}$  – полуширина площадки контакта в направлении оси  $oz$ ).

Условия периодичности в каждой полосе:

$$w_j(x, z_j) = w_j(x + l, z_j); \quad p_j(x, z_j) = p_j(x + l, z_j). \quad (8)$$

Нормальные перемещения границы вязкоупругого слоя в  $j$ -й полосе можно определить по условию

$$w_j(x, z_j) = \delta - \frac{1}{2R} (x^2 + z_j^2); \quad x \in \Omega, \quad (9)$$

где  $\delta$  – зазор.

Введем безразмерные координаты и переменные:

$$\begin{aligned} \hat{x} = \frac{x}{R}; \quad \hat{z} = \frac{z}{R}; \quad \hat{w} = \frac{w}{R}; \quad \hat{\delta} = \frac{\delta}{R}; \quad \hat{l} = \frac{l}{R}; \quad \hat{p}_j = \frac{2p_j}{R} \cdot \frac{h}{E^*}; \\ \hat{P} = \frac{2P}{R^3} \frac{h}{E^*}; \quad \zeta = \frac{2a_H}{T_\sigma V}; \quad \hat{a}_H = \frac{2a_H}{R}; \end{aligned} \quad (10)$$

где  $a_H$  – характеризует приложенную нагрузку,  $a_H = \sqrt[3]{\frac{3PR}{4E^*}}$ .

Уравнение (9) и производная этого уравнения по координате  $x$  преобразуют соотношение (7):

$$\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) - \frac{\hat{a}_H}{\zeta} \frac{d\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j)}{d\hat{x}} = 2\hat{\delta} - \hat{x}^2 - \hat{z}_j^2 + \frac{2c\hat{a}_H}{\zeta} \hat{x}. \quad (11)$$

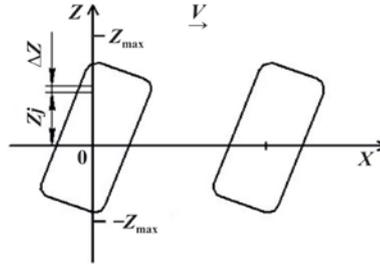


Рис. 2 Метод полос

Решая уравнение (11), получаем распределение давлений в  $j$ -й полосе зоны контакта:

$$\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) = \frac{\zeta}{\hat{a}_n} \int_{-\hat{a}_j}^{\hat{x}} e^{\frac{(\hat{x}-\xi)\zeta}{\hat{a}_n}} \left( \xi^2 - \frac{2c\hat{a}_n}{\zeta} \xi - 2\hat{\delta} + \hat{z}_j^2 \right) d\xi. \quad (12)$$

При этом одно из граничных условий на конце площадки при  $x = a_j$  будет выполнено как

$$\hat{p}_j(-\hat{a}_j) = 0; \quad -\hat{a}_j = \hat{a}(\hat{z}_j).$$

Интегрируя выражение (12), получаем

$$\hat{p}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) = e^{\frac{(\hat{x}+\hat{a}_j)\zeta}{\hat{a}_n}} (\hat{a}_j^2 - c_1\hat{a}_j - c_{2j}) - \hat{x}^2 - c_1\hat{x} + c_{2j}, \quad (13)$$

где  $c_1 = \frac{2\hat{a}_n(1-c)}{\zeta}$ ;  $c_{2j} = 2\hat{\delta} - \hat{z}_j^2 - 2\hat{a}_n^2(1-c)/\zeta$ .

В выражение для контактного давления (13) входит неизвестная граница площадки контакта  $a_j = a(z_j)$ . Запишем второе граничное условие (1) для давления на набегающей стороне области контакта  $b_j = b(z_j)$  и соотношение (11) на ненагруженных участках  $p_j(x, z_i) = 0$  при  $x \in (b_j, l - a_j)$ :

$$\hat{p}_j(\hat{b}_j) = e^{\frac{(\hat{b}_j+\hat{a}_j)\zeta}{\hat{a}_n}} (\hat{a}_j^2 - c_1\hat{a}_j - c_{2j}) - \hat{b}_j^2 - c_1\hat{b}_j + c_{2j} = 0; \quad (14)$$

$$\hat{w}_j(\hat{x}, \hat{z}_i) - \frac{a_{nc}}{\zeta} \frac{d\hat{w}_j(\hat{x}, \hat{z}_j)}{d\hat{x}} = 0; \quad \hat{x} \in (\hat{b}_j, \hat{l} - \hat{a}_j). \quad (15)$$

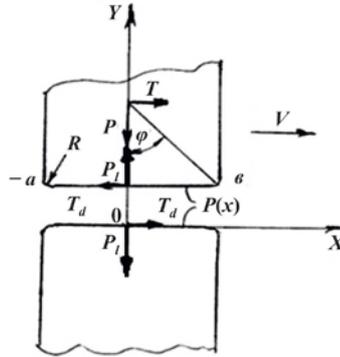
Решением уравнения (15) является функция

$$\hat{w}_j(\hat{x}, \hat{z}_j) = \hat{w}_{0j} e^{\hat{x}\zeta/ca_n}; \quad \hat{x} \in (b_j, \hat{l} - \hat{a}_j).$$

Так как нормальные перемещения непрерывны, на границе зоны контакта при  $x = l - a_j$ ,  $x = b_j$  и с учетом (9) можно записать

$$\begin{aligned} 2\hat{w}_{0j} e^{(\hat{l}-\hat{a}_j)\zeta/ca_n} &= 2\hat{\delta} - \hat{z}_j^2 - \hat{a}_j^2; \\ 2\hat{w}_{0j} e^{\hat{b}_j\zeta/ca_n} &= 2\hat{\delta} - \hat{z}_j^2 - \hat{b}_j^2. \end{aligned}$$

Рис. 3. Схема сил, действующих на ножи при размоле



Исключая постоянную  $\widehat{w}_0$  из последних уравнений и преобразуя (14), получаем систему уравнений для определения границ зоны контакта  $a_j, b_j$  в каждой полосе:

$$\begin{aligned} e^{\frac{(\widehat{a}_j + \widehat{b}_j - l)\zeta}{c\widehat{a}_n}} (2\widehat{\delta} - \widehat{z}_i^2 - \widehat{a}_j^2) &= 2\widehat{\delta} - \widehat{z}_j^2 - \widehat{b}_j^2; \\ e^{\frac{(\widehat{a}_j + \widehat{b}_j)\zeta}{c\widehat{a}_n}} (\widehat{a}_j^2 - c_1\widehat{a}_j - c_2j) &= \widehat{b}_j^2 - c_1\widehat{b}_j - c_2j. \end{aligned} \quad (16)$$

Система уравнений (16) и соотношение (13) позволяют найти распределение давлений и границу зоны контакта в  $j$ -й полосе при зазоре  $\delta$ . Нагрузка на нож определяется уравнением (3) и преобразуется к следующему виду:

$$\widehat{P} = 2 \int_0^{(2\delta)^{1/2}} \int_{-\widehat{a}(z)}^{\widehat{b}(z)} \widehat{p}(\widehat{x}, \widehat{z}) d\widehat{x} d\widehat{z} = 2 \sum_{j=1}^N \Delta\widehat{z} \int_{-\widehat{a}_j}^{\widehat{b}_j} \widehat{p}_j(\widehat{x}, \widehat{z}_j) d\widehat{x}, \quad (17)$$

где  $(2\delta)^{1/2}$  – полуширина площадки контакта в направлении оси  $oz$ .

Схема сил, действующих на нож, показана на рис. 3 (где  $T_d, P_l$  – тангенсальная и нормальная составляющие силы реакции волокнистой прослойки на нож).

Для площадки контакта  $(a + b)$  ножей гарнитуры имеем

$$\begin{aligned} \widehat{P}_e &= 2 \sum_{j=1}^N \Delta\widehat{z} \int_{-\widehat{a}_j}^{\widehat{b}_j} \widehat{p}_j(\widehat{x}, \widehat{z}_j) \cos \varphi(\widehat{x}) d\widehat{x}; \\ \widehat{T}_d &= 2 \sum_{j=1}^N \Delta\widehat{z} \int_{-\widehat{a}_j}^{\widehat{b}_j} \widehat{p}_j(\widehat{x}, \widehat{z}_j) \sin \varphi(\widehat{x}) d\widehat{x}; \\ \widehat{M} &= \iint_{\Omega} \widehat{x} \widehat{p}(\widehat{x}, \widehat{z}) d\widehat{x} d\widehat{z}, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $\widehat{M}$  – момент сопротивления движению ножа.

Анализ выражения (13) и системы уравнений (16) показывает, что контактные характеристики для ножей гарнитуры зависят от безразмерных параметров: относительного зазора  $\frac{\delta}{R}$ ; свойств волокнистой прослойки  $c = \frac{T_\varepsilon}{T_\sigma}$ ; па-

раметров, характеризующих нагрузку  $\hat{P} = \frac{2P}{R^3} \frac{h}{E^*}$ ; аналога числа Деборы  $\zeta = \frac{2a_n}{T_{\sigma} V}$ ; относительного шага между ножами гарнитуры  $\frac{l}{R}$ .

Результаты проведенных теоретических исследований подтверждены многочисленными экспериментами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гончаров В.Н.* Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых мельницах: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. Л., 1990. 31 с.
2. *Горячева И.Г.* Контактная задача качения вязкоупругого цилиндра по основанию из того же материала // ПММ. 1973.(37), № 5. С. 877–885.
3. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. 509 с.
4. *Haines D.J., Ollerton E.* Contact stress distributions on elliptical contact surfaces subjected to radial and tangential forces// Proc. Inst. Mech. Engrs. 1963. (177), 95.

Поступила 17.01.12

*S.N. Vikharev*

The Ural State Forest Engineering University

#### **Contact Interaction of Mill Blades with Wood Pulp**

Mechanics of contact interaction of blades is considered in view of specific features of the fibrous layer. A mathematical model connecting parameters of contact of blades and a fibrous layer has been developed.

*Key words:* contact interaction, blades, fibrous layer.

---



УДК 630\*237

**М.А. Дербина**

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

Дербина Мария Алексеевна окончила в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ.

E-mail: m.derbina@agtu.ru



### **ПРИМЕНЕНИЕ БИОГУМУСА ПРИ ВЫРАЩИВАНИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ТЕПЛИЦЕ**

Установлено, что сеянцы, выращенные с добавлением биогумуса, не уступают по количеству, диаметру и высоте сеянцам, выращенным с использованием традиционного минерального питания. Приведены данные по выращиванию сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в закрытом грунте.

*Ключевые слова:* биогумус, посадочный материал, сосна обыкновенная, теплица.

При выращивании посадочного материала эффективным агротехническим приемом, направленным на повышение плодородия почвы и улучшение минерального питания, является применение удобрений. Действие удобрений в почве разностороннее: они пополняют запасы питательных веществ, изменяют реакцию почвенной среды, улучшают физические свойства. Одновременно повышается жизнеспособность полезной почвенной микрофлоры и, прежде всего, микроорганизмов, принимающих активное участие в образовании гумуса и доступных для растений питательных веществ.

Кроме минеральных удобрений, при выращивании посадочного материала одним из перспективных может стать биогумус, являющийся продуктом переработки органических отходов популяцией дождевого червя и содержащий в сбалансированном сочетании целый комплекс необходимых питательных веществ и микроэлементов, ферменты, почвенные микроорганизмы, гуминовые вещества, витамины. Это качественное органическое комплексное удобрение быстро восстанавливает естественное плодородие почвы, улучшает ее структуру, водно-воздушный режим, способствует сокращению сроков

прорастания семян, ускорению роста и сокращению сроков созревания плодов. Основой биогумуса служат комплексные соединения с минеральными компонентами почвы – гуматы, которые формируются в процессе переваривания мертвых органических отходов растительного и животного происхождения в пищеварительном канале червей. В копролитах червей естественных популяций содержится 11...15 % гумуса на абс. сухое вещество, в копролитах культивируемых червей – в 2 раза больше (25...35 %). Кроме того, 1 г копролитов содержит более 50 млрд микробных клеток, т.е. в почве копролиты являются центрами микробиологической активности [2].

Ранее влияние биогумуса на растения рассматривалось применительно к сельскому хозяйству. В лесном хозяйстве такие примеры фрагментарны. Поэтому изучение влияния биогумуса на сеянцы хвойных пород в условиях Европейского Севера представляет собой научный и практический интерес.

Цель настоящей работы – определение влияния различных доз и способов внесения биогумуса на показатели сеянцев сосны обыкновенной, выращиваемых в теплице.

Опыты с биогумусом были заложены в 5 вариантах с различными схемами внесения:

- 1 – 1,0 кг сухого биогумуса в разброс по поверхности и 0,5 кг сухого биогумуса на мульчирование рядков;
- 2 – 0,5 кг сухого биогумуса в углубленные бороздки до посева семян и 0,5 кг сухого биогумуса на мульчирование рядков;
- 3 – 0,5 кг сухого биогумуса в углубленные бороздки до посева семян и 0,5 кг торфа для мульчирования;
- 4 – 1,5 кг сухого биогумуса в разброс по поверхности гряды;
- 5 – 1,0 кг сырого биогумуса в углубленные бороздки до посева.

В качестве контроля использовали традиционный вариант с минеральными удобрениями: аммиачная селитра (12,0 г/м<sup>2</sup>), двойной суперфосфат (10,0 г/м<sup>2</sup>), сульфат калия (7,2 г/м<sup>2</sup>). На участки с биогумусом минеральные удобрения не вносили.

Все варианты выполнены в трехкратной повторности, площадь повторности составляла 1 м<sup>2</sup>.

Посев сосны обыкновенной проводили в 2009 г. снегованными в течение 1 мес. семенами по 10-строчной схеме. Посев семян в вариантах с биогумусом осуществляли на неделю позже, чем на контроле. Единичные всходы появились через неделю (в контроле через 10 дн.), массовые – через 12 дн. В первый год сеянцы с открытой корневой системой выращивали под пленкой, во второй – без покрытия, что соответствует региональной технологии [3]. Ежегодно сеянцы дважды пропалывали, также окашивали траву вокруг теплиц.

В таблице представлены статистические показатели сеянцев по вариантам за 2009 и 2010 гг.

Вариант	Количество сеянцев, шт./м <sup>2</sup>	Высота сеянцев, см			
		$M \pm m_M$	Коэффициент изменчивости, %	Достоверность различия с контролем	Диаметр у шейки корня, см
1	990	9,3±0,43	12,9	3,6	0,10
	1115	18,1±0,18	19,0	3,8	0,15
2	1692	10,8±0,15	9,3	4,0	0,10
	1733	18,0±0,57	16,9	4,0	0,15
3	1521	9,7±0,18	10,0	3,5	0,10
	1565	17,5±0,49	15,6	3,5	0,15
4	1729	11,3±0,10	4,8	4,5	0,15
	1938	18,8±0,67	18,0	4,5	0,20
5	962	9,0±0,10	7,2	3,0	0,10
	1208	12,3±0,42	28,1	4,0	0,10
Контроль	1259	8,0±0,00	5,9	–	0,10
	1398	12,0±0,00	23,6	–	0,10

Примечания. 1. В числителе приведены данные за 2009 г., в знаменателе – 2010 г. 2. Стандартное значение по критерию Стьюдента  $t_{0,01} = 2,7$  [1].

Различие в высоте сеянцев сосны доказано для всех вариантов с применением биогумуса по сравнению с контролем.

Данные таблицы показывают, что наибольшее количество и размеры стандартных 2-летних сеянцев получены в вариантах 2 и 4 с внесением соответственно 0,5 кг/м<sup>2</sup> сухого биогумуса в углубленные бороздки до посева семян + 0,5 кг/м<sup>2</sup> сухого биогумуса на мульчирование рядков и 1,5 кг/м<sup>2</sup> биогумуса в разброс по поверхности. В этих вариантах высота 1-летних сеянцев на 25...45 %, а 2-летних на 6...11 % выше, чем на контроле. При этом количество сеянцев соответственно больше на 24...38 и на 35...37 %. Диаметр у шейки корня во всех вариантах был на уровне контроля, кроме варианта 4, где этот показатель в 1,5–2 раза выше. Однако, наряду с повышением всхожести семян и снижением выжимания сеянцев, в варианте 2 мульчирование несколько увеличивает отпад растений в первый год выращивания.

В ходе исследований было установлено единичное засорение сорными растениями в посевах с биогумусом, в вариантах 2, 3 и 5 засоренность отсутствует, в варианте 4 имеются единичные сорняки.

Таким образом, добавление биогумуса положительно влияет на процесс выращивания посадочного материала. Сеянцы сосны обыкновенной, выращенные с добавлением биогумуса, не уступают по продуктивности сеянцам на традиционном минеральном питании и имеют хорошее качество.

Для выращивания сосны обыкновенной рекомендуется вносить 1,5 кг/м<sup>2</sup> сухого биогумуса в разброс по поверхности (15,0 т/га) или 0,5 кг/м<sup>2</sup> сухого биогумуса в углубленные бороздки до посева семян + 0,5 кг/м<sup>2</sup> сухого биогумуса на мульчирование рядков (суммарно 10,0 т/га).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев И.И. Статистические показатели распределения: метод. указ. к выполнению работ по вариационной статистике. Архангельск: РИО АЛТИ, 1980. 36 с.
2. Игонин А.М. Дождевые черви. Как повысить плодородие почвы в десятки раз, используя дождевого червя «Старателя». М.: Нар. образ., НИИ школьных технологий, 2006. 192 с.
3. Мочалов Б.А., Сеньков А.О. Рост сеянцев сосны с закрытыми и открытыми корнями в культурах таежной зоны // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 145–146. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 30.10.11

***M.A. Derbina***

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

**Use of Vermicompost for Growing Stock in a Greenhouse**

It is established that the seedlings which have been grown up with addition of a biohumus, don't concede on quality and height grown up with use of a traditional mineral food. Data on cultivation of a pine of ordinary (*Pinus sylvestris* L.) are provided in the closed soil.

*Key words:* biohumus, landing material, pine ordinary, nursery

УДК 624.011.1: 674.028.9

**Е.Н. Серов<sup>1</sup>, А.Е. Серов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>2</sup>ОАО «С.-Петербургский научно-исследовательский институт по реставрации памятников истории и культуры "НИИ Спецпроектреставрация"»

Серов Евгений Николаевич родился в 1932 г., окончил в 1963 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор кафедры конструкций из дерева и пластмасс С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет более 130 печатных работ в области исследования клееных деревянных конструкций с учетом анизотропных свойств материалов.  
Тел.: 89117541784



Серов Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, главный инженер проекта АМ-6 ОАО «С.-Петербургский научно-исследовательский институт по реставрации памятников истории и культуры "НИИ Спецпроектреставрация"». Имеет 5 печатных работ в области инженерной реставрации памятников истории и архитектуры г. С.-Петербурга.  
E-mail: reser@list.ru



## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УСИЛЕНИЮ БАЛОК НИЖНЕГО ЧЕТВЕРИКА ПРЕОБРАЖЕНСКОЙ ЦЕРКВИ НА О. КИЖИ**

Изучено состояние Преображенской церкви на о. Кижы, отмечено запредельное состояние балок нижнего четверика, рассмотрено три варианта усиления основных балок памятника деревянного зодчества.

*Ключевые слова:* памятники деревянного зодчества, запредельное состояние, усиление балок нижнего четверика.

Стоимость работ по сохранению и реставрации памятников истории, культуры и архитектуры (ПА) достаточно высока, однако государство идет на эти траты, спасая шедевры, возведенные по замыслам выдающихся архитекторов, инженеров и гениальных народных умельцев. Памятников деревянного зодчества с каждым годом становится все меньше и меньше [2, 5]. Существует реальная опасность полной утраты этих всемирно известных, но очень хрупких, в прямом и переносном смысле, объектов нашего культурного наследия. Одной из причин этих потерь является отсутствие во многих проектах реставрации инженерных решений, обычно отражающих волю, вкусы и пристрастия авторов. Инженерная беспомощность реставраторов заложена в структуре многих советов и организаций, ответственных за реставрацию [7, 9].

Одной из основных жемчужин деревянного русского зодчества – церкви Преображения Господня на о. Кижи, в 2014 г. исполняется 300 лет. Там же на острове стоит миниатюрная церковь Воскрешения Лазаря, которой более 600 лет. Она была поставлена Лазарем Муромским до его кончины – приблизительно в 1391 – 95 гг. В мировой практике имеются даже более древние деревянные сооружения. Сохранность их зависит от многих факторов, одним из главных уверенно можно назвать состояние кровли. Не менее важными в обеспечении долговечности памятников являются грамотные инженерные решения, в том числе и при реставрации.

Погост на о. Кижи берет свое начало с конца XV в. Образ церкви формировался веками. У этого шедевра деревянного зодчества – 22-главой церкви-«невесты», была 25-главая старшая сестра – «барыня», возведенная в 1708 г. в с. Анхимово (Вологодская обл.). В 1963 г. она сгорела и к 300-летию возрождена по обмерным чертежам А.В. Ополовникова в Невском лесопарке под С.-Петербургом.

Первая капитальная реставрация Преображенской церкви, вызванная ветхим состоянием памятника, выполнялась в 1949–59 гг. [1, 3]. В процессе реставрации были выявлены существенные деформации сруба, возникла необходимость установки жесткого каркаса внутри сооружения и сжимов из брусьев на срубе для уменьшения деформаций стен, а также замены сгнивших бревен путем подъема сруба на домкратах. Запланированные работы были частично проведены в 1964–65 гг., однако в 1968 г. здание церкви было признано аварийным [1, 3].

На первом Всесоюзном совещании по проблемам повышения эффективности использования древесины в строительстве (г. Новосибирск, 1968 г.) предлагалось продлевать срок службы древесины в открытых зданиях и сооружениях путем использования пропиточных составов [8]. Однако эти мероприятия оказались малоэффективными. Начиная с 1969 г. проекты укрепления конструкций церкви разрабатывались многими ведущими московскими и ленинградскими НИИ и др. организациями. В их числе был и Ленинградский инженерно-строительный институт (ЛИСИ). Под руководством доцента кафедры деревянных конструкций С.А. Душечкина был разработан проект инженерного укрепления памятника [1, 3]. В 1981–83 гг. во внутреннем пространстве памятника был установлен силовой металлический каркас по проекту Н.И. Смирнова с соавторами. Он поддерживает церковь до настоящего времени.

В 1987 г. на открытый всесоюзный конкурс проектов укрепления памятника было представлено 15 предложений, однако ни один из проектов не решал полностью проблему спасения главного объекта комплекса. В 1988 г. по способам спасения Кижского архитектурного ансамбля состоялся международный симпозиум в г. Петрозаводске и на о. Кижи. В 1990 г. в г. Архангельске на международной конференции, посвященной путям сохранения и методам реставрации памятников деревянного зодчества, также обсуждались вопросы спасения этого шедевра.

В последние годы выполнено обстоятельное инженерное обследование Преображенской церкви Л.А. Новожиловым [4]. Им были измерены прогибы основных балок, определены неравномерные осадки различных частей сруба и отклонения памятника от вертикали. Получены основные механические характеристики реальной древесины памятника, а также выявлены опасные распилы бревен венцов без силового стыкования при замене дефектных частей в процессе предыдущих реставраций и ослабления балок подклети и других элементов сооружения при устройстве связей временного стального каркаса [4, рис. 40 и 41 на стр. 92]. Особую тревогу вызывают распилы нескольких венцов подряд в одном месте [4, рис. 28 на стр. 79]. Наши пращурь умели беречь непрерывность колец венцов в срубах. Изобретенные ими волоковые окна, особенно, в нижних венцах подклетей не нарушали этой целостности. Лишь парадные «красные» окна, да входные двери – это уже примерно в середине высоты сруба, на повети, прерывали эти кольца, однако здесь вступали в работу мощные обрамляющие косяки, соединенные в углах «на ус». Исходя из этого, при реставрации памятника, особенно в нижних его венцах, необходимо соблюдать непрерывность бревенчатых колец – стыки элементов должны быть только силовыми. Естественно, недопустимы «перепилы» и другие ослабления бревен.

Автором [4] также определены перенапряжения в бревнах сруба и четвериковых балках. Установлено, что опасность представляет напряженно-деформированное состояние (НДС) балок нижнего, наиболее нагруженного, четверика (НЧ). Это согласуется с расчетами, выполненными Ю.В. Пискуновым [6]. Вопросам усиления конструкций НЧ многие годы не уделялось должного внимания. Ознакомление приглашенных экспертов (Г.И. Белый, Б.С. Лапшин и Е.Н. Серов) с реализуемым в настоящее время проектом реставрации памятника не дало ответа на эту инженерную задачу, решения по обсуждаемому вопросу на экспертизу представлены не были, а экспертное заключение в 2010 г. не было востребовано. Позднее была дана ссылка на усиление, предложенное Л.А. Новожиловым [4]. Авторы реставрации увлечены самой идеей верной переборки бревен памятника с помощью некоего «норвежского лифтинга». Они удачно разделили весь столп на 7 ярусов и успешно поднимают



Рис. 1. Пример русского «лифтинга»

их с помощью вышеупомянутого внутреннего каркаса и специальных дополнительных металлических стоек. Мы не беремся устанавливать приоритеты, однако считаем, что предки всех народов издревле пользовались «лифтингом» при переборке любых деревянных построек. На Руси метод подъема венцов с этой целью используется давно, известен он и нашим реставраторам [3]. Нашими предками он закладывался уже в процессе строительства, например, жилых домов. Сруб повети выполнялся с выступами над подклетью меньших размеров и подпирался специальными мощными столбами (рис. 1). Нижние, наиболее микологически уязвимые, венцы в любое время могли быть перебраны без остановки функционирования здания.

Усиление балок НЧ необходимо не столько по прочности, сколько по жесткости. Максимальный относительный прогиб их составляет не 1/250, а 1/66 от пролета, что исключает возможность их дальнейшей эксплуатации по условию второго предельного состояния, а неравномерный прогиб, например, на подветренной стороне преимущественного направления ветров может оказаться определяющим в отклонении памятника от вертикали.

Конструктивно церковь, как и многие древнерусские храмы, выполнена по схеме четверик на восьмерике и наоборот. Столп храма сформирован из трех восьмериков и трех четвериков. При этом бревна самого большого по размерам НЧ пролетом 9,5 м врублены в панели восьмериков «в реж», а в промежутках между бревнами одного направления пропущены ортогональные, образующие перекрестную систему с размером каждой стороны клетки 7,5 м. Каждая балка НЧ состоит из пяти бревен, объединенных между собой для совместности работы короткими вертикальными распорками в створе мест опирания следующего среднего восьмерика (СВ). Указанное опирание происходит на 16-метровой высоте, а верх столпа храма до яблока главной верхней луковицы еще имеет 19-метровую высоту. Повышенные деформации опорных балок здесь весьма опасны, тем более, что имеется пример обрушения даже низкого трехглавого верха церкви Богоявления Господня в пос. Палтога (Вычегодский р-н Вологодской области (рис. 2).

Автором [4] обнаружена, на наш взгляд, некая странность: менее нагруженные балки среднего четверика (СЧ) усилены, а в НЧ усилений нет, и даже отсутствует одна первозданная распорка у нижнего бревна. Измеренные прогибы оказались различными – от 11,5 до 14,5 см. Нетрудно предложить, что это и является одной из основных причин



Рис. 2. Обрушение верха церкви Богоявления Господня в пос. Палтога

отклонения храма от вертикали. При разности прогибов противоположных балок в 3 см яблоко верхней главы храма сместится по горизонтали примерно на 65 см.

В [4] предложены три варианта схем усиления НЧ. Все они предполагают превращения отдельных бревен НЧ в те или иные шпренгельные системы (рис. 3) [4, с.162]. Такие схемы усиления, тем более с передачей концевых усилий от подпруг шпренгелей на торцы балок, в стационарных температурно-влажностных условиях являются общепризнанными, однако для данного конкретного памятника и с учетом суровых озерных условий становятся сомнительными и даже неприемлемыми. Древесина и металл по-разному реагируют на воздействия влажности и температуры: при увлажнении древесина набухает, а сталь не изменяет своих размеров, и, наоборот, при температурных колебаниях размеры деревянных элементов остаются стабильными, а сталь, особенно в длинномерных стержнях, заметно деформируется. Влажность воздуха в озерных условиях достигает 100 % и более. Деревянные сооружения испытывают длительное охлаждение зимой и неравномерный нагрев летом. Например, в 2010 г. на острове была невероятная жара – в августе днем температура достигала 30 °С и более, в сентябре тоже было достаточно жарко. Зимой, наоборот, свирепствуют лютые морозы. Амплитуда температурных воздействий достигает 50 ... 60 °С. При этом длина шпренгельных подпруг изменяется примерно на 8 мм. Суточные перепады температуры, неравномерный односторонний нагрев, интенсивное смачивание древесины атмосферными осадками и не менее интенсивное высыхание, часто при экстремальных ветровых нагрузках, и другие факторы формируют суровость

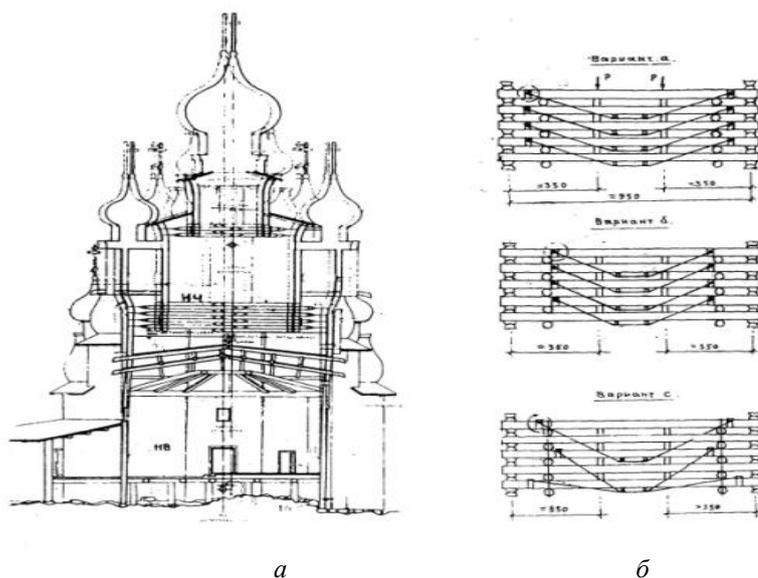


Рис. 3. Нижний четверик в столпе церкви (а) и схемы его усиления (б) по Л.А. Новожилову

условий эксплуатации памятника. Немаловажно, что и сам остров сложен в основном из шунгита – почти черного, хорошо нагревающегося минерала. Такое усиление с использованием длиномерного незащищенного металла своими температурными деформациями будет даже раскачивать памятник. При этом изгибаемые бревна балок становятся сжато-изогнутыми. Кроме того, передача больших сосредоточенных усилий непосредственно на ослабленные временем существующие бревна не на торец, а в узлах примыкания подпруг шпренгелей к ним на расстоянии 0,5 м и более от торца, связана с неизбежными местными ослаблениями и запредельными усилиями на смятие и, особенно, на скалывание древесины.

Предлагаемые нами два основных варианта усиления балок НЧ без изменения схемы их работы учитывают требования ЮНЕСКО и принцип аутентичности.

Первый из них, самый простой, заключается в замене коротких вертикальных распорок между венцами НЧ длинными бревенчатыми прокладками без восприятия сдвиговых усилий. В системе бревен устанавливаются лишь хомуты, обеспечивающие проектное положение всех элементов. Здесь устраняется опасность утраты коротких распорок в каждой балке и вместо пяти отдельных бревен будут работать девять. При неполном включении в работу длиномерных четырех прокладок момент инерции каждой балки НЧ увеличится в 1,64 раза.

Во втором варианте длинными бревенчатыми прокладками заполняются лишь два промежутка – один между двумя верхними и второй между двумя нижними бревнами с обеспечением совместности их работы. Среднее, пятое, бревно остается свободным – на коротких распорках по первоначальному решению. Таким образом, в каждой «стенке» НЧ организуются по две трехбревенчатых балки на податливых связях, по типу балок В.С. Деревягина. В отличие от этих известных балок на пластинчатых нагелях с ослабляющими пропилами, совместность работы трех бревен обеспечивается не нагелями, воспринимающими сдвиг и работающими на изгиб, а ввинченными стержнями (применение клеев службы ЮНЕСКО запрещают), воспринимающими главные растягивающие напряжения и работающими, естественно, на растяжение (рис. 4). При этом металлические винты по длине не превышают 65 см. Кроме того, они защищены древесиной от температурных перепадов, не ослабляют кромки бревен в швах сплачивания и зрительно не искажают первоначальную конструкцию памятника. Реализуется принцип струны, установленной вдоль растягивающих напряжений, и аутентичности.

Приблизительные (уточненные еще надо разрабатывать) расчеты показали, что восприятие главных растягивающих напряжений (ГРН) в верхнем шве прямоугольной балки, эквивалентной трехбревенчатой, обеспечивается 10 парами длиномерных винтов нового поколения диаметрами 14 и 10 мм и длиной 500 мм (по 5 пар в приопорных зонах с шагом 500 мм (рис. 4)). Диаметр пионерных отверстий равен 10 мм, что практически не ослабляет бревна.

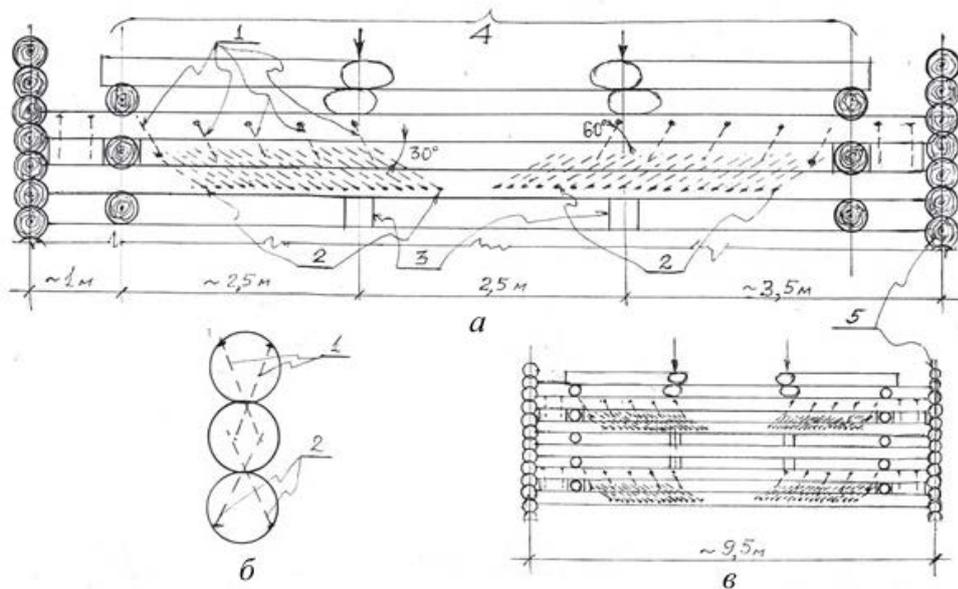


Рис. 4. Схема усиления балок НЧ на винченных растянутых стержнях: *а* – трехбрусчатая верхняя балка; *б* – направления винтов в поперечных сечениях бревен; *в* – одна из усиленных балок НЧ; 1 – винты под углом  $60^\circ$  к осям бревен в верхнем шве; 2 – винты под углом  $30^\circ$  к осям бревен в нижнем шве; 3 – первозданные распорки; 4 – СВ; 5 – НВ

Усредненный угол наклона постановки винтов в верхнем шве равен  $60^\circ$ . В нижнем шве усредненный угол действия ГРН в 2 раза меньше –  $30^\circ$ . Винты того же диаметра здесь приняты длиной 650 мм. В эквивалентной балке ниже нейтрального слоя ГРН существенно больше, чем в верхнем шве, поэтому необходимое количество пар винтов увеличено до 38 919 пар) с шагом 140 мм в приопорных зонах (рис. 4). Жесткость балок НЧ по второму варианту усиления увеличится почти в 10 раз. Коротыши заполнения промежутков между стенами НВ и ортогональными балками НЧ фиксируются только двумя винтами длиной 500 мм.

В любых вариантах усиления имеются свои сложности. В шпренгельных схемах весьма проблематично передать большие сосредоточенные усилия в узлах системы на любые бревна, тем более проработавшие 300 лет и имеющие расчетные сопротивления смятию поперек волокон и скалыванию соответственно 1,2 и 1,1 МПа [4]. В наших предложениях сложности сопряжены с подбором и подгонкой бревен, хорошо высушенных под навесами Плотницкого центра, и с большей трудоемкостью осуществления усиления. Неровности бревен должны быть удалены не только по черте, но, возможно, и проножовлены. Мы считаем эти сложности преодолимыми, тем более что непосредственные исполнители реставрации имеют высокий уровень квалификации и бережно относятся к памятнику.

В целях исключения больших остаточных прогибов, накопившихся за 300 лет в бревнах НЧ, с нашей точки зрения, также целесообразно все четыре балки НЧ выполнить в усиленном варианте из новых недеформированных бревен. Для этого потребуется 20 заготовок длиной 10 м. Это предложение, как некий дополнительный вариант, обусловлено не деструкцией древесины балок, а запредельным их состоянием по деформациям. Надеемся, что оно станет основным во всех вариантах усиления, так как требования методики реставрации не будут нарушены – материал заменен на аналогичный, сруб НВ не затронут, восстановлена изначальная геометрия и реализован принцип аутентичности.

Наши предложения ни в коей мере не исключают разработку иных решений, но пока большого выбора нет. Все имеющиеся варианты усиления НЧ необходимо обсудить на компетентной и независимой комиссии из специалистов, имеющих опыт сохранения деревянных конструкций в памятниках архитектурного наследия. Возможно, возникнет какой-то новый вариант – как синтез уже предложенных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянова Э.В.* Музей-заповедник «Кижы». 40 лет. Петрозаводск, 2006. 208 с.
2. *Гаврюшкин В.В., Сашко М.П.* Чрезвычайные ситуации в строительстве: причины, предупреждение, ликвидация последствий. Красноярск, 2007. 232 с.
3. *Гущина В.А.* Преображение. Петрозаводск, 2004. 40 с.
4. *Новожилков Л.А.* Реставрация Преображенского собора в Кижях. М.: АЛЕВ-В, 2009. 200 с.
5. *Пермиловская А.Б.* Проблемы сохранения памятников деревянного зодчества Русского Севера // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Пути сохранения и методы реставрации памятников деревянного зодчества». Архангельск, 1990. С. 9–13.
6. *Пискунов Ю.В.* Исследования четвериковых балок здания Преображенской церкви на о. Кижы // Сб. материалов междунар. конф. «Пути сохранения и методы реставрации памятников деревянного зодчества». Архангельск, 1990. С. 105–107.
7. *Пищик И.И.* Решение технических задач – фундамент реставрации // Сб. материалов междунар. конф. «Пути сохранения и методы реставрации памятников деревянного зодчества». Архангельск, 1990. С. 111–113.
8. Повышение эффективности конструкционного использования древесины в строительстве // Материалы Всесоюз. совещ. Ч. 1 и 2. М.: Стройиздат, 1968 – 222 с.
9. *Серов Е.Н., Серов А.Е.* Проблемы спасения деревянных конструкций в зданиях и сооружениях // Сб. науч. тр. «Современные строительные конструкции из металла и древесины». Ч. 1. Одесса, 2010. С. 212–217.

Поступила 30.03.12

*E.N. Serov<sup>1</sup>, A.E. Serov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

<sup>2</sup> OAO St. Petersburg Research Institute for Restoration of Historical and Cultural Monuments “Research Institute Spetsproektrestavratsiya”

**Suggestions For Strengthening the Beams of the Lower Quadrangle of the Transfiguration Church on the Kizhi Island**

The state of the Transfiguration Church on the Kizhi Island is described; the appalling state of the beams of the lower quadrangle is noted; three options for strengthening these main beams of the wooden architecture monument are considered.

*Key words:* wooden architecture monuments, appalling state, strengthening the beams of the lower quadrangle.

УДК 676.012.-50

**В.П. Сиваков, И.А. Партин**

Уральский государственный лесотехнический университет

Сиваков Валерий Павлович родился в 1942 г., окончил в 1971 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, декан лесомеханического факультета Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 200 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.

E-mail: sivakov@usfeu.ru



Партин Илья Александрович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Уральский государственный лесотехнический университет, старший преподаватель УГЛТУ. Имеет более 20 печатных работ в области технической диагностики и виброзащиты оборудования лесопромышленного комплекса.

E-mail: metod@usfeu.ru



### **ДЕМПФИРУЮЩИЕ ОПОРЫ ТРУБОПРОВОДОВ ВАРОЧНЫХ КОТЛОВ**

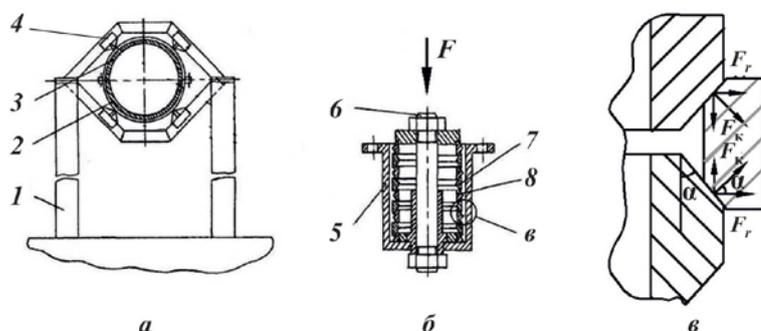
Произведен расчет и разработана конструкция демпфирующих опор трубопроводов варочных котлов.

*Ключевые слова:* опора, трубопровод, расчет, вибрация, частота.

Трубопроводы загрузки сырья и выгрузки целлюлозной массы из варочных котлов эксплуатируются под воздействием широкого спектра динамических нагрузок от гидравлических ударов, пульсации давления, температурных колебаний и др. От внешних нагрузок трубопроводы имеют колебания с преобладанием одной из частот. Эти колебания можно эффективно снизить, применяя демпфирующие опоры.

Для снижения вибрации трубопроводов разработаны опоры с демпферами для горизонтальных и вертикальных участков труб. Рабочие нагрузки на опоры определялись для загруженного суспензией трубопровода. Предполагалось, что места установки опор фиксированы. Указанное условие приближенно выполняется, если рабочую нагрузку на каждую опору трубопровода принимать равной полусумме весов пролетов, заключенных между данной опорой и ближайшими к ней опорами с обеих сторон.

Для опор горизонтального участка нижней части тракта загрузочной циркуляции (см. рисунок) в качестве упругодемпфирующих элементов приняты кольцевые пружины. Опора состоит из стоек с закрепленными на них демпфирующими элементами и клеммы, установленной на трубе. Штоки



Опора с демпфером горизонтального участка трубопровода грузозачной циркуляции: *а* – схема опоры; *б* – демпфирующий упругий элемент; *в* – схема нагружения колец упругого элемента; 1 – станина опоры; 2 – труба; 3 – клемма; 4 – демпфирующий упругий элемент; 5 – шток; 6 – корпус; 7 – наружное кольцо пружины; 8 – внутреннее кольцо пружины

предварительно поджатых упругих элементов (см. рисунок *а*) упираются в боковую поверхность клеммы.

При компенсационном удлинении трубы от технологических изменений температуры и давления в ней сырьё штоки проскальзывают по поверхности клеммы, не препятствуя ее перемещению. Вибрация трубопровода в радиальном направлении вызывает осевые перемещения штоков и деформацию кольцевых пружин. Кольцевые пружины, работающие в условиях многократных динамических нагружений, принудительно охлаждаются. Для отвода тепла применяют системы циркуляционной смазки. В зависимости от пригонки колец друг к другу и режима смазки работа от сил трения составляет до 15...60 % от полной работы, совершаемой при нагружении пружины, и рассеивает энергию колебаний трубопровода [1].

Расчет кольцевых пружин на растяжение–сжатие колец и осевое перемещение торцов приведен в [1]. Однако в этой работе не исследованы собственные частоты колебаний колец пружины. При совпадении частот вынуждающих сил, действующих на пружину, с собственными частотами колебаний колец пружины возможны резонансные колебания. Для предотвращения резонанса в системе трубопровод–опора выполним расчет низших собственных частот колебаний колец пружин.

Кольца пружины удовлетворяют условиям тонкостенности [2]:

$$\frac{\delta - c}{2R} \leq 0,1, \quad (1)$$

где  $\delta$  – толщина стенки кольца;  
 $c$  – прибавка к расчетной толщине стенки;  
 $R$  – средний радиус кольца.

Вынуждающая сила  $F \cos \omega t$  от вибрации трубопровода нагружает контактирующую поверхность кольца пружины равномерно распределенной силой:

$$F_k = \frac{F \cos \omega t}{2(z-1)2\pi R}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – частота колебания трубопровода;

$t$  – фактор времени;

$2$  – число поверхностей кольца, по которым действует сила  $F_k$  (см. рисунок 6);

$z$  – число колец в пакете пружины.

Радиальная составляющая сил, действующих на кольцо пружины,

$$F_r = \frac{F \cos \omega t \cdot \cos \alpha}{2(z-1)\pi R}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол наклона поверхности контакта кольца к вертикальной плоскости.

Сила  $F_r$  создает на поверхности кольца пружины давление, которое определим по следующей формуле:

$$p = \frac{F \cos \omega t \cdot \cos \alpha}{2(z-1)\pi R l_k}, \quad (4)$$

где  $l_k$  – высота кольца пружины.

При расчете низшей собственной частоты радиальных колебаний основного элемента пружины (кольца) рассматриваем его как тонкостенный цилиндр, нагруженный внутренним или наружным давлением. От давления в стенках кольца возникают напряжения, которые приблизительно определяют из уравнения Лапласа:

$$\sigma = \frac{pR}{\delta}. \quad (5)$$

Напряжения вызывают относительное удлинение (укорочение) кольцевого периметра стенки:

$$\varepsilon = \sigma/E = \frac{pR}{\delta E}. \quad (6)$$

Средний радиус кольца

$$R^1 = R \pm \Delta R = R \pm \varepsilon R, \quad (7)$$

где  $\Delta R$  – увеличение (уменьшение) радиуса.

Поскольку давление  $p$  создается вынуждающей силой  $F \cos \omega t$  от колеблющегося трубопровода, то и изменение среднего радиуса кольца происходит в соответствии с этими колебаниями. Расчет малых радиальных колебаний тонкостенного цилиндрического кольца, симметричных относительно его оси, сводится к решению задачи с одной степенью свободы. В этом случае геометрические размеры стенок кольца определяются изменением среднего радиуса кольца. Изменением толщины стенок во время колебаний можно пренебречь по сравнению с изменением среднего радиуса.

Изменение среднего радиуса тонкостенного кольца от действия равномерной радиальной нагрузки определяется из формул (5)–(7):

$$\Delta R = pR^2/(E\delta). \quad (8)$$

Жесткость  $C$  тонкостенного кольца определяется давлением на кольцо, при статическом действии которого получается единичная радиальная деформация. Учитывая, что для пружин нагружение происходит в пределах упругости, жесткость кольца определяется по формуле

$$C = p\Delta R = \frac{p^2 R^2}{E\delta}. \quad (9)$$

Собственная частота колебаний кольца

$$f = \frac{\sqrt{C/m}}{2\pi}, \quad (10)$$

где  $m$  – масса кольца,  $m = \gamma 2\pi R \delta l_k$ ;

$\gamma$  – плотность материала кольца.

После подстановки  $C$  в (10) формула примет следующий вид:

$$f = \frac{pR}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{E\delta m}}. \quad (11)$$

Для исключения резонансных явлений низшая собственная частота колебаний колец должна достаточно далеко располагаться от частот вынужденных колебаний трубопровода

$$0,7\omega/2\pi < f \leq 1,25 \omega/2\pi. \quad (12)$$

Если низшая собственная частота колебаний колец пружины удовлетворяет условиям формулы (12), резонансные колебания опор трубопровода предотвращаются.

#### Выводы

Установлены зависимости между радиальными деформациями колец пружины в пределах упругости, характеристиками материала и геометрическими размерами колец.

Получено уравнение для приближенного расчета низших собственных частот колебаний колец.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.
2. ГОСТ 14249–89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1990.

Поступила 17.01.12

*V.P. Sivakov, I.A. Partin*

The Ural State Forest Engineering University

**Damping Pipeline Supports of Cooking Boilers**

Calculation has been made and construction of damping pipeline supports of cooking boilers has been developed.

*Key words:* support, pipeline, calculation, vibration, frequency.

---



УДК 630\*161.4(049.3)

*С.Н. Тарханов*

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

### **ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОЙНЫХ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ\***

Монография содержит результаты многолетних экспериментальных исследований по экологии и физиологии хвойных в условиях разного водно-воздушного режима болотных почв и светового режима Европейского Севера. Авторам удалось компактно изложить огромный экспериментальный материал и при этом охватить разнообразные аспекты данной проблемы (значительный ряд экологических факторов, определяющих рост и развитие древесных растений на избыточно-увлажненных почвах, дыхание корней и хвои, особенности водного и минерального питания, динамику накопления пигментов, фотосинтез, процессы накопления, оттока и распределения <sup>14</sup>C-ассимилятов, камбиальный рост и др.). Показано, что длительное избыточное увлажнение приводит к аноксии почвы, что не только отрицательно сказывается на метаболизме корневых систем растений, но и негативно влияет на их рост и продуктивность, нанося существенный экологический и экономический ущерб. Поэтому, как справедливо отмечают авторы, выявление физиологических и биохимических механизмов адаптации растений к анаэробным условиям, их реакции на улучшение экологической обстановки после осушения и рубок представляет значительный интерес не только с научной точки зрения, но и в связи с прикладной проблемой повышения продуктивности лесов. Изучению состояния данных процессов у хвойных древесных растений в условиях разного водно-воздушного режима торфяной почвы и светового режима в условиях Европейского Севера России посвящена данная работа.

Монография состоит из 8 глав. Библиография включает 420 источников.

В главе 1 на основе анализа обширных литературных данных рассматриваются экологические и физиологические аспекты явлений анаэробноза растений, влияние на их жизненное состояние условий светового режима.

---

\**Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2010. 295 с.

Авторы отмечают, что неблагоприятные условия водно-воздушного режима, обычно складывающиеся на избыточно-увлажненных почвах, наряду с нарушением физиолого-биохимической деятельности, оказывают негативное влияние не только на камбиальную деятельность деревьев, но и в целом на продуктивность насаждений. Осушение переувлажненных земель, устраняя избыток влаги в прикорневой зоне, ведет к усилению физиологической и ростовой активности деревьев и повышению продуктивности лесов. Выборочные рубки на мелиорируемых почвах улучшают световой и тепловой режим под древесным пологом леса.

Глава 2 посвящена описанию природно-климатических особенностей района исследований (Архангельская обл.). Отмечается, что близость морей, густая сеть рек и озер, большое количество выпадающих осадков (500 мм в год), слабая испаряемость (170...340 мм) на фоне низкой температуры способствуют интенсивному заболачиванию лесов, площадь которых занимает почти 50 % всего лесного фонда области. С середины прошлого столетия в целях повышения продуктивности заболоченных и переувлажненных лесов в области началось их широкомасштабное осушение.

Характеристика объектов, методы исследований и способы обработки собранного экспериментального материала приводятся в главе 3. Следует отметить, что в большинстве случаев авторами использованы современные методы исследований: пламенно-фотометрический, радиоизотопной индикации, спектрофотометрический, количественной бумажной хроматографии.

В главе 4 рассматривается роль средообразующих факторов, обуславливающих особенности роста древесных растений на осушаемых землях. Показано, что в северных сосняках и ельниках длительное переувлажнение приводит к нарушению газообмена между почвой и атмосферой, созданию в прикорневой зоне избытка углекислоты и дефицита свободного кислорода. С помощью осушительной мелиорации удается значительно увеличивать аэрацию почвы. Авторы установили, что осушение глубокими и редко расположенными каналами не позволяет добиваться равного положительного эффекта на всем межканальном пространстве. По их мнению, для достижения хороших результатов осушать заболоченные леса необходимо с помощью мелкой мелиорации, сочетающей проведение через 30...50 м неглубоких (0,5 м) канав-борозд с глубокими водоотводящими каналами через 500 м.

Роль осушения в активизации физиолого-биохимических и ростовых процессов у сосны и ели рассмотрены в главе 5. Авторы отмечают характерные для сосны и ели физиолого-биохимические и морфологические особенности на осушаемых торфяниках, которые способствуют значительному увеличению интенсивности роста деревьев и повышению продуктивности переувлажненных лесов. Показана способность сосны и ели после сброса излишков воды усиливать деятельность корней, повышать ассимиляцию  $\text{CO}_2$  и интенсивность транспирации, существенно увеличивать содержание в органах и тканях биогенных элементов при сокращении затрат энергетического материала на поддержание

жизнедеятельности. Значительное место в главе отведено характеристике сезонных изменений жизненного состояния растений напочвенного покрова при выращивании в условиях гипоксии и после осушения.

Метаболические и ростовые аспекты жизни хвойных древесных растений на осушаемых землях в условиях разного светового режима рассмотрены в следующих трех главах. При этом основное внимание уделяется деятельности ассимиляционного аппарата, процессам накопления, оттока и передвижения  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов, процессам роста у сосны и ели на осушаемых землях после проведения выборочных и сплошных рубок. Авторы отмечают, что сплошные рубки в осушаемых лесах Севера уже через четыре года приводят к повторному заболачиванию вырубаемых территорий, результатом которого является нарушение физиолого-биохимических и ростовых процессов у оставляемых на вырубках тонкомера и подроста. Значительное место в этом разделе занимает описание изменений, происходящих у растений живого напочвенного покрова в пигментной системе, в содержании углерода при выращивании на осушаемых землях после проведения выборочных рубок.

В заключении дается обобщение результатов проведенных исследований.

В целом можно приветствовать выход в свет данного труда, содержащего большой фактический материал по физиологии лесных растений при разном водно-воздушном и световом режимах. Следует отметить, что в последние годы подобные издания выходят из печати не часто. Монография представляет значительный интерес как для исследователей в области физиологии и биохимии растений, так и для специалистов в области лесного хозяйства.

В 2011 г. в этом же издательстве вышла вторая монография указанных авторов «Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах», в которой авторами обстоятельно рассмотрены закономерности динамики физиологических и ростовых процессов у лесных растений в связи с дозами вносимых минеральных удобрений, водно-воздушным режимом торфяников, типом лесных биоценозов, технологическими схемами подсочки и др.

*S.N. Tarkhanov*

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch RAS

**Ecological and Physiological Characteristics of Conifers on Drained Land**

---

УДК 630\*161.4(049.3)

**В.В. Фуряев**

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

### **ДОБРОТНЫЙ ВКЛАД В ЛЕСНОЕ ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ\***

Вышел в свет капитальный труд по индикационному методу изучения лесов, авторы которого – сотрудники кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем СПбГЛТУ д-р с.-х. наук, проф. Д.М. Киреев, канд. с.-х. наук П.А. Лебедев, канд. биол. наук В.Л. Сергеева.

Книга «Индикаторы лесов» является очередным крупным вкладом в лесное ландшафтоведение, курс лекций по которому с 1995 г. читается в университете.

В книге впервые в качестве индикаторов рассмотрены компоненты и элементы ландшафта, морфологическая структура ландшафтных комплексов. Предложен оригинальный индикационный метод экологической оценки лесных земель, предусматривающий широкое использование аэрокосмических материалов и картографических источников информации. Метод в несколько раз снижает затраты на ресурсную и экологическую оценку лесов, инвентаризацию и дистанционно-наземное картографирование.

Книга состоит из введения, восьми глав, содержит 15 табл., 112 рис., большинство из которых прекрасно выполнены, оригинальны и принадлежат авторам.

В первой главе рассмотрены компоненты и элементы ландшафта, ландшафтные и экологические индикаторы.

Во второй главе дано определение лесных земель и детально рассмотрен их почвенный индикатор, основными показателями которого являются: трофность почвогрунтов, водность, рыхлость, подвижность, мерзлотность, затопляемость, дренаж и нарушенность. Каждый из перечисленных показателей характеризуется тремя степенями или градациями, которые в совокупности формируют экологический режим природно-территориального комплекса (фации, урочища, местности, ландшафты). Показаны примеры формул экологического режима лесных земель и их лесоводственная интерпретация.

---

\*Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л. Индикаторы лесов /Под общ. ред. Д.М. Киреева. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2011. 400 с.

Экологические режимы земель накладывают своего рода запрет на развитие целых групп растений, не соответствующих данным условиям, и создают оптимальные условия для других групп растений, которые приобретают доминирующую роль в сообществе. Это явление на широком спектре примеров показано в третьей главе «Растительные индикаторы». Рассмотрены фитоиндикаторы трофности, водности, затопляемости. Для определения экологических режимов земель Д.М. Киреевым (1977 г.) разработан и применяется метод накопленных частот встречаемости растений-индикаторов.

Древесные виды являются наиболее важными ландшафтными растительными индикаторами. В четвертой главе рассмотрены экологические и географические ареалы важнейших видов, произрастающих на территории Евразии. Для каждого вида авторы книги составили формулы экологического ареала с указанием экологического оптимума.

Структурные ландшафтные индикаторы – это не только отдельные элементы и компоненты ландшафта, но и закономерное территориальное размещение более мелких природных территориальных комплексов (ПТК) в пределах более крупных и сложных. Морфологическая структура ПТК – результат природного процесса его формирования. Она отличает один природный комплекс от другого и является его структурным индикатором. В пятой главе подробно проанализировано подразделение ПТК по их литогенной основе, включающей отложения и горные породы различного генезиса. Приведено описание особенностей структурных индикаторов различных ландшафтов Русской и Западно-Сибирской равнин, Средне-Сибирского плоскогорья, Карпат и др. территорий. Описания сопровождаются блок-диаграммами, схемами изображений на топографических картах крупного масштаба и фото-снимками.

В шестой главе особое внимание, и не случайно, уделено методике ландшафтных индикационных работ. Авторы подчеркивают, что применение ландшафтного индикационного метода позволяет основной объем работ по изучению и картографированию лесов проводить камерально до выхода в поле. При этом сокращаются сроки проведения дорогостоящих полевых работ, повышаются темпы исследований, точность и полнота оценки ресурсов леса. Кроме того, в этой главе изложены методики сбора и интерпретации ландшафтных источников информации, которые включают литогенную основу, общегеографические и топографические карты, аэрокосмические снимки, результаты полевых работ на ландшафтных профилях.

В седьмой главе описаны растительные индикаторы лесов северо-запада Русской равнины. Здесь представлены в системном порядке 23 древесных и 320 недревесных видов растений-индикаторов. Есть основание полагать, что столь обширный список этих растений представляет исключительную

ценность для исследователей, занимающихся оценкой экологических режимов лесных земель.

Заключительная глава содержит список растений-индикаторов лесных земель по требовательности к трофности, водности, затопляемости, дренажу, кислотности и карбонатности. По сути это готовый справочник для практического использования в почвоведении, геоботанике, экологии и природоведении.

*V.V. Furyaev*

Sukachev Institute of Forest SB RAS

**A Major Contribution to the Forest Landscape Science**

---

---