

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

2

2010

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**

Заместители главного редактора:

д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолева**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, 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 техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

---

«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, информации 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» № 2

Редакторы Н.П. Бойкова, Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой  
Перевод Н.Т. Подражанской  
Графическое оформление О.А. Томиловой

---

Сдан в набор 08.02.2010. Подписан в печать 29.03.2010. Заказ № 89  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,219. Усл. кр.-отт. 14,219.  
Уч.-изд. л. 18,205. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

---

Издательство Архангельского государственного технического университета  
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17



## СОДЕРЖАНИЕ

*В.А. Азаренок, С.В. Залесов, С.И. Булдаков, В.Г. Новоселов.* Уральскому государственному лесотехническому университету – 80 лет..... 7

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

*А.Л. Мусиевский, Н.Ф. Самойлов.* Организация хозяйственных секций и возрасты рубок в дубравах лесостепной зоны..... 12

*В.В. Тужилкина, К.С. Бобкова.* Хлорофилльный индекс в фитоценозах коренных ельников Европейского Северо-Востока..... 17

*Д.В. Изотов, Ю.Г. Тагильцев, Р.Д. Колесникова, В.А. Цюпко.* Биологически активные вещества дальневосточных видов багульника..... 24

*О.С. Барзут, М.В. Сурсо.* Древовидный можжевельник на Европейском Севере России..... 30

*А.И. Ревин, А.Н. Смольянов, Н.Б. Старостюк.* Физико-механические свойства древесины культур сосны различной густоты посадки в Тамбовской области..... 38

*А.В. Дунаев.* Макромицеты корневой системы дуба в лесостепных дубравах... 43

*Е.А. Робакидзе, Н.В. Торлопова, К.С. Бобкова.* Состояние древесных растений еловых фитоценозов в зоне аэротехногенного действия целлюлозно-бумажного производства..... 47

*Г.А. Одноралов, Е.Н. Тихонова.* Почвенно-литологические факторы формирования сосновых насаждений Центрального Подонья..... 56

*И.Б. Амосова, П.А. Феклистов.* Асимметрия листовой пластинки березы повислой у особей разного возрастного состояния в пригородных лесах г. Архангельска..... 60

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

*Ю.А. Ширнин, А.Ю. Ширнин.* Комбинированная трелевка древесины со сменными технологическими модулями..... 67

*А.Н. Заикин.* Моделирование процессов лесозаготовок как основа снижения негативного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы..... 72

*В.П. Стуков.* Оптимизация балки деревожелезобетонного пролетного строения автодорожного моста..... 78

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

## И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

*И.М. Меркушев.* Психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины..... 83

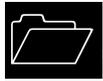
*В.И. Мелехов, И.И. Соловьев.* Создание термопластических напряжений в пильном диске круглой пилы..... 87

*М.М. Черных, В.В. Сергеева.* Имитация состаренной древесины за счет обработки ее поверхности щеточными инструментами..... 91

*О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.Т. Харитоненко.* Анализ использования древесных отходов в муниципальной энергетике Архангельской области..... 98

*Л.В. Алексеева.* Технология производства пиломатериалов на базе смешанного трехпоточного лесопильного цеха с механизированной подачей сырья..... 103

<i>В.И. Малыгин, Л.В. Кремлева, В.Т. Харитоненко, И.Л. Вареников.</i> Влияние технико-экономических показателей деревообрабатывающего модельного производства на методологию автоматизации его технической подготовки.....	108
<i>В.А. Шамаев, В.В. Златоустовская, А.С. Копытин.</i> Стабилизация форм и размеров прессованной древесины химическими методами.....	115
<b>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</b>	
<i>А.М. Айзенштадт, М.В. Богданов, Л.В. Сахно.</i> Оценка возможности использования окислительно-восстановительной системы хинон–гидрохинон в качестве медиатора.....	123
<i>Н.С. Горбова, Д.С. Косяков, К.Г. Боголицын.</i> Протолитические свойства родственных лигнину фенолов в электронно-возбужденных состояниях.....	129
<i>К.Г. Боголицын, Т.А. Махова, Т.Э. Скребец.</i> Изучение гидродинамических характеристик диоксанлигнина в ацетате 1-бутил-3-метилимидазолия.....	134
<i>И.В. Сумерский, С.М. Крутов, А.В. Пранович, М.Я. Зарубин.</i> Исследование гидролизных лигнинов методом DFRC.....	141
<b>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</b>	
<i>Е.Н. Серов, А.Е. Серов, Б.В. Лабудин, Р.Б. Орлович, С.А. Лабутов.</i> К вопросу восстановления деревянных конструкций купола Троицкого Собора в Санкт-Петербурге.....	147
<b>ИСТОРИЯ НАУКИ</b>	
<i>Ректорат и коллектив лесохозяйственного факультета Воронежской государственной лесотехнической академии.</i> Михаил Михайлович Вересин: этапы большого плодотворного пути.....	154
<b>КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ</b>	
<i>А.В. Хвостова.</i> Интересная и полезная книга.....	155
<b>НЕКРОЛОГИ</b>	
<i>Ректорат и коллектив Архангельского государственного технического университета, редколлегия и редакция «Лесного журнала».</i> Памяти Олега Михайловича Соколова.....	156



## CONTENTS

- V.A. Azarenok, S.V. Zalesov, S.I. Buldakov, V.G. Novoselov. Ural State Forest Engineering University is 80..... 7

## FORESTRY

- A.L. Musievsky, N.F. Samoilov. Organization of Management Sections and Cutting Age in Oak Groves of Forest-steppe Zone..... 12
- V.V. Tuzhilkina, K.S. Bobkova. Chlorophyllous Index in Phytocenoses of Virgin Spruce Forests in European Northeast..... 17
- D.V. Izotov, Yu.G. Tagiltsev, R.D. Kolesnikova, V.A. Tsyupko. Biologically Active Substances of Far-Eastern Labrador Tea..... 24
- O.S. Barzut, M.V. Surso. Arborescent Juniper in the Russian European North..... 30
- A.I. Revin, A.N. Smoljanov, N.B. Starostyuk. Physical-mechanical Wood Properties of Pine Culture of Different Planting Density in Tambov Region..... 38
- A.V. Dunaev. Macromycetes of Oak Root System in Forest Steppe Oak Forests..... 43
- E.A. Robakidze, N.V. Torlopova, K.S. Bobkova. Wooden Plants State of Spruce Phytocenoses in Zone of Aerotechnogeneus Effect of Pulp-and-paper Production..... 47
- G.A. Odnorolov, E.N. Tikhonova. Soil-lithologic Factors of Pine Plantations Productivity of Central Don Region..... 56
- I.B. Amosova, P.A. Feklistov. Leaf Plate Asymmetry of Silver Birch of Various Age in Arkhangelsk Suburban Forests..... 60

## WOODEXPLOITATION

- Yu.A. Shirnin, A.Yu. Shirnin. Combined Skidding of Wood with Replacement Technological Units..... 67
- A.N. Zaikin. Simulation of Logging Processes as Basis of Lowering Negative Impact of Forest Machines on Forest Ecosystems..... 72
- V.P. Stukov. Optimization of Wooden Reinforced-concrete Beam of Road Bridge Span..... 78

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- I.M. Merkushev. Psychometric Diagram of Equilibrium Wood Humidity..... 83
- V.I. Melekhov, I.I. Soloviev. Creation of Thermoplastic Tension in Circular Saw Blade..... 87
- M.M. Chernykh, V.V. Sergeeva. Imitation of Aged Wood by Processing its Surface by Brush Tools..... 91
- O.D. Muller, V.I. Malygin, V.T. Kharitonenko. Analysis of Wood Wastes Use in Municipal Heating of Arkhangelsk Region..... 98
- L.V. Alexeeva. Technology of Sawed Timber Production Based on Mixed Three-flow Sawmill Plant with Mechanized Feed of Raw Material..... 103
- V.I. Malygin, L.V. Kremleva, V.T. Kharitonenko, I.L. Varenikov. Influence of Engineering-and-economical Performance of Woodworking Model Enterprise on Automation Methodology of its Manufacturing System..... 108
- V.A. Shamaev, V.V. Zlatoustovskaya, A.S. Kopytin. Stabilization of Forms and Dimensions of Pressed Wood by Chemical Methods..... 115

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

- A.M. Aizenshtadt, M.B. Bogdanov, L.V. Sakhno.* Evaluation of Using Oxidation-reduction System of Quinine-hydroquinone as Mediator..... 123
- N.S. Gorbova, D.S. Kosyakov, K.G. Bogolitsy.* Protolytic Properties of Phenols Related to Lignin in Electronically Excited States..... 129
- K.G. Bogolitsyn, T.A.Makhova, T.E. Skrebets.* Study of Dioxanlignin Hydrodynamic Characteristics in 1-butyl-3-methylimidazolium Acetate..... 134
- I.V. Sumersky, S.M. Krutov, A.V. Pranovich, M.Ya. Zarubin.* Investigation of Hydrolyzed Lignin by Method of DFRC..... 141

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING*

- E.N. Serov, A.E. Serov, B.V. Labudin, R.B. Orlovich, S.A. Labutov.* On Renovation of Wooden Structures of the Trinity Cathedral Dome in Saint-Petersburg..... 147

*HISTORY OF SCIENCE*

- University administration and staff of Forestry faculty of Voronezh State Forestry Engineering Academy.* Mikhail M. Veresin: Stages of Great Fruitful Way..... 154

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

- A.V. Khvostova.* Interesting and Useful Book..... 155

*OBITUARY*

- University administration and Arkhangelsk State Technical University, editorial board and editorial staff of «Lesnoi Zhurnal».* In memory of Oleg Mikhailovich Sokolov..... 156



УДК 378

*В.А. Азаренок, С.В. Залесов, С.И. Булдаков, В.Г. Новоселов*

Уральский государственный лесотехнический университет

## **УРАЛЬСКОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОМУ УНИВЕРСИТЕТУ – 80 ЛЕТ**

Уральский федеральный округ знаменит богатейшими лесными ресурсами, которые интенсивно эксплуатируются в интересах страны более трех столетий. Большинство современных насаждений пройдены двумя-тремя оборотами рубки, тем не менее имеют достаточно высокую производительность, а лесозаготовительная и лесоперерабатывающая отрасли занимают важное место в структуре современной промышленности округа. Совершенно не случайно приказом ВСНХ СССР от 5 мая 1930 г. в г. Свердловске был создан Уральский лесотехнический институт.

Несмотря на сложности разных лет, коллектив института всегда стремился к совершенствованию учебного процесса на основе научных исследований, укреплял материально-техническую базу и воспитывал молодое поколение. В 1978 г. за успехи в подготовке высококвалифицированных специалистов и развитие научных исследований институту присвоено имя Ленинского комсомола, а в 1980 г. он награжден орденом Трудового Красного Знамени. В 1993 г. институт преобразован в Уральскую государственную лесотехническую академию, а в 2001 г. в Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ).

За свою 80-летнюю историю университет накопил огромный опыт образовательной, научной и практической работы. Из стен вуза вышли более пятидесяти тысяч дипломированных специалистов, многие из которых стали руководителями министерств и ведомств, предприятий и учреждений различных отраслей промышленности страны.

Уральский государственный лесотехнический университет обеспечивает развитие научных исследований и инновационных разработок в лесопромышленном комплексе и смежных с ним отраслях экономики страны: химической промышленности, транспорте, охране окружающей среды, рекреационной и туристической индустрии. УГЛТУ, единственное в Уральском федеральном округе высшее учебное заведение лесотехнического профиля, стал реальным центром инновационно-образовательного комплекса – Университетского образовательного округа и осуществляет непрерывную многоступенчатую подготовку высококвалифицированных кадров различного уровня: от рабочих профессий до руководителей и специалистов для инженерной, экономической, управленческой деятельности, сферы обслуживания и др.

Научно-образовательный потенциал университета определяется в первую очередь кадровым составом кафедр и лабораторий, где работают

500 высококвалифицированных педагогов. 300 преподавателей имеют ученые степени и звания, в том числе около 50 – ученую степень доктора наук или ученое звание профессора, 250 – степень кандидата наук, 21 является членом общественных академий. Этот интеллектуальный ресурс гарантирует получение студентами фундаментальных знаний, навыков и умений, а также формирует лидерские качества и основу для дальнейшего саморазвития.

УГЛТУ сегодня – крупный научно-образовательный комплекс. В шести институтах, трех филиалах и на 10 факультетах обучаются около 10 тысяч студентов по широкому спектру основных и дополнительных образовательных программ, обеспечивающих многоуровневость и непрерывность подготовки специалистов. Программы высшего профессионального образования объединены в 13 укрупненных групп специальностей и направлений, в том числе: профориентации и подготовки к поступлению в вуз; среднего профессионального образования – 11; высшего профессионального образования (специалитет) – 25; направления подготовки бакалавров – 12; магистров – 7; специальности аспирантуры – 19; докторантуры – 5; профессионального образования и дополнительной квалификации – 7.

За период с 2001 г. по 2009 г. в университете открыто 19 новых специальностей и направлений, среди них «Земельный кадастр», «Природопользование», «Защита окружающей среды», «Социально-культурный сервис и туризм» и др.

Подтверждением целенаправленной работы университета по подготовке специалистов высшей квалификации являются высокие показатели эффективности работы аспирантуры и докторантуры. В частности, в 2009 г. диссертационные работы в срок защитили 62 % аспирантов.

Аудитории и лаборатории университета оснащены современным оборудованием, которое постоянно пополняется. Так, приобретены уникальный тренажер с процессорным управлением, который полностью имитирует работу оператора харвестера, и копировально-фрезный обрабатывающий центр с ЧПУ.

Вуз располагает локальной компьютерной сетью, состоящей более чем из тысячи современных ПЭВМ с выходом в Интернет. Настоящей кладовой знаний является научная библиотека университета, которая насчитывает более восьмисот тысяч единиц хранения учебной, научной и специальной литературы. Ее четыре читальных и три электронных зала обслуживают свыше тридцати тысяч посетителей в год. В учебно-производственных мастерских, научно-исследовательских лабораториях, гаражах и автодроме, Уральском учебно-опытном лесхозе площадью тридцать тысяч гектаров, саде лечебных культур студенты получают практические навыки и умение обращаться с приборами, технологическим оборудованием, транспортными и технологическими машинами и т. д.

В УГЛТУ, вектором развития которого стало инновационное образование, подготовка специалистов неразрывно связана с требованиями реального сектора экономики. Стратегическое сотрудничество университета с министерствами и ведомствами Свердловской области, предприятиями,

организациями и учреждениями Уральского региона обеспечивает ему финансовую устойчивость и возможность трудоустройства выпускников. Среди партнеров университета – предприятия Министерства природных ресурсов Свердловской области, Фанком, Соликамскбумпром, Свердловскавтодор, Туринский ЦБЗ, лесопромышленный комбинат «Лобва» и многие автотранспортные предприятия.

Ярким примером синтеза учебного, научного и производственного процессов стал Уральский лесной технопарк (Постановление Правительства Свердловской области № 598 ПП от 26 июня 2007 г.). Инициаторами его формирования выступили УГЛТУ, Уральский союз лесопромышленников и правительство Свердловской области. Уральский лесной технопарк выступает как полигон для формирования и апробации новейших технологий, которые затем будут реализованы на предприятиях Уральского региона. В бюджете Свердловской области на 2009–2011 гг. выделены средства на разработку проектов, касающихся утилизации бумаги, добровольной сертификации устойчивого лесопользования, технологий малоэтажного домостроения на основе лесоматериалов для улучшения энергетической эффективности внешней оболочки строений и нескольких других.

Ученые университета выполняют фундаментальные, прикладные исследования и разработки по естественным, техническим, сельскохозяйственным, химическим, экономическим и гуманитарным наукам. Фундаментальные и поисковые научные исследования проводятся по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы» по заданию Министерства образования и науки России, грантам Российского фонда фундаментальных исследований. Прикладные исследования и разработки ведутся по хозяйственным договорам с предприятиями и организациями.

Разработки УГЛТУ по переформированию производных березняков в хвойные насаждения, выполненные по заказу ЗАО «Фанком», на межрегиональной выставке-ярмарке «Лесной комплекс 2006» удостоены золотой медали и диплома I степени.

Ученые университета давно и эффективно способствуют решению самых острых и сложных задач лесного комплекса региона. Так, в течение последних двадцати лет все нормативные акты по ведению лесного хозяйства на территории УрФО создавались при активном участии сотрудников вуза в реализации программ модернизации лесного комплекса, ландшафтного строительства и озеленения столицы Урала, экологического мониторинга предприятий.

Сегодня основными направлениями инновационной деятельности вуза в рамках Уральского лесного технопарка стали исследования и внедрение модели интенсивного ведения лесного хозяйства, глубокой переработки древесины, использования отходов лесопереработки в качестве топлива для энергетических установок, применения новых материалов в деревянном домостроении, создание наноматериалов для систем очистки питьевой воды, промышленных и ливневых стоков, совершенствование строительства и эксплуатации автомобильных дорог и ряд других.

Мировое сообщество в настоящее время обеспокоено повышением температуры нижних слоев атмосферы планеты. Основной причиной возникновения данного эффекта являются парниковые газы, к которым в порядке воздействия на тепловой баланс Земли относятся водяной пар, углекислый газ и др. Леса признаны наиболее надежной системой предотвращения парникового эффекта, так как они поглощают (депонируют) углекислый газ и аккумулируют углерод на продолжительный период. В университете за последние годы разработаны эмпирические модели депонирования углерода лесными насаждениями для отдельных территорий уральского региона и Башкирии. В декабре 2008 г. результаты работ были одобрены на заседании экономического совета при губернаторе Свердловской области.

В исследованиях, ведущихся в УГЛТУ, активное участие принимают студенты, работы которых отмечены медалями, грантами, дипломами и грамотами выставок и конкурсов различных уровней.

Научно-педагогические школы УГЛТУ получили международное признание. Сложились устойчивые многолетние связи с Сельскохозяйственным и лесным университетом им. Г. Менделя в Брно (Чехия), Федеральным НИИ леса, снега и ландшафта (Швейцария), Северо-восточным университетом лесного хозяйства из Харбина (Китай), колледжем туризма и гостиничного менеджмента (Кипр), высшей школой по дереву из Нанта (Франция) и др. С Нантской высшей школой подписано трехстороннее соглашение, третьим участником которого стала Челябинская государственная аграрная академия. «Союз трех» взят под опеку Генеральным консульством Франции в Екатеринбурге.

В связи с вхождением России в Болонский процесс для выпускников университета, имеющего обширные международные связи, созданы все условия для получения двойного диплома бакалавра (российского и иностранного) и владения двумя-тремя языками, освоенными в заграничных стажировках.

На базе УГЛТУ ежегодно проходят крупные научные форумы, например Международный евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» в рамках Евроазиатского лесопромышленного форума в Екатеринбурге; Круглый стол «Шанхайская организация сотрудничества и проблемы международной безопасности»; Международная научно-техническая конференция «Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса»; Всероссийская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Научное творчество молодежи – лесному комплексу России».

Ученые университета неоднократно представляли нашу страну на международных симпозиумах. А в 2006 г. ведущие специалисты мира приехали в Екатеринбург для участия в конференции «Влияние изменений климата на бореальные и умеренные леса», которую проводил вуз. Материалы конференции позволяют оценить текущее состояние бореальных (расположенных севернее 60-градусной параллели) и умеренных лесов и сформулировать рекомендации по их сохранению.

Университет – член многих международных объединений: союза лесных исследовательских организаций IUFRO, ассоциации INTAS, центра лесного хозяйства ICFFI, ассоциации автомобильного и дорожного образования. Доказательством высокой оценки деятельности старейшей высшей школы Урала стало также проведение на ее базе учебных практик студентов из европейских стран.

Жизнь молодежи не ограничивается учебой, производственной практикой, научными исследованиями. Вуз должен воспитать не только хорошего специалиста, но и активную личность. В УГЛТУ для этого созданы все условия. Здесь действуют различные формы самоуправления, такие как отряд охраны правопорядка «Рысь» и профком студентов. Работает один из лучших в городе студенческих Дворцов культуры и спорта с вокальной и хореографической студиями, театром, хором русской народной песни. В летнее время на берегу оз. Песчаное открывается спортивно-оздоровительный лагерь, в котором могут отдохнуть более пятисот юношей и девушек.

Студенческий городок – это восемь благоустроенных общежитий на три тысячи мест, столовая, кафе, магазин, санаторий-профилакторий, расположенные вокруг учебных зданий. Здесь же находится спортивный комплекс, в котором есть два игровых зала, помещения для занятий борьбой и боксом, стадион с искусственным покрытием футбольного поля и беговых дорожек, два теннисных и хоккейный корты. Студенты имеют возможность выбрать себе занятие по душе и посвятить ему свободное от учебы время.

В последние годы «лесные» специальности вновь востребованы на рынке труда. Молодые люди, выбирая будущую профессию, приходят учиться в престижный вуз, внедряющий инновационные образовательные технологии и выпускающий профессионалов нового поколения. Недаром средний конкурс по УГЛТУ в 2007 и 2008 гг. составил четыре человека на место. А сам университет динамично развивается и превращается в интеллектуальный центр УрФО по разработке и реализации инновационных, научно-образовательных, исследовательских, информационных, социальных программ и национальных проектов в различных отраслях экономики. Славные традиции, высокий кадровый потенциал, хорошая материально-техническая база, стремление коллектива университета соответствовать требованиям времени позволяют с оптимизмом смотреть в будущее.

Долгих лет тебе, кузница лесных кадров – Уральский государственный лесотехнический университет!

*V.A. Azarenok, S.V. Zalesov, S.I. Buldakov, V.G. Novoselov*  
Ural State Forest Engineering University

**Ural State Forest Engineering University is 80**

---



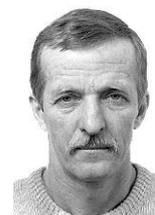
## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*64:674.031

*А.Л. Мусиевский, Н.Ф. Самойлов*

Воронежская государственная лесотехническая академия

Мусиевский Александр Леонидович родился в 1958 г., окончил в 1984 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 печатных работ в области организации и ведения хозяйства в дубравах и комплексной оценки лесных ресурсов.

E-mail: [lestaks53@mail.ru](mailto:lestaks53@mail.ru)

Самойлов Николай Федорович родился в 1951 г., окончил в 1973 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии, начальник партии «Воронежлеспроект». Имеет более 20 научных работ в области лесоустройства, комплексной и стоимостной оценки лесных ресурсов.

E-mail: [lestaks53@mail.ru](mailto:lestaks53@mail.ru)**ОРГАНИЗАЦИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СЕКЦИЙ  
И ВОЗРАСТЫ РУБОК В ДУБРАВАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ**

Обоснована необходимость образования хозяйственных секций с учетом экотипов, происхождения и продуктивности дубрав. Для лесостепной зоны предложены возрасты рубок по хозсекциям.

*Ключевые слова:* дубравы, лесостепная зона, экотипы, хозяйственные секции, возраст рубки.

Научный подход к организации хозяйства в лесах РФ является залогом их устойчивого управления, сохранения биоразнообразия и экологических функций, многоцелевого, рационального, непрерывного и неистощительного использования, воспроизводства, улучшения качества и повышения продуктивности.

Деление дубовых лесов на хозяйственные части заложено в Лесном кодексе [5] и подразумевает в эксплуатационных лесах наличие одной хозяйственной части, в защитных – в зависимости от установленных категорий.

Как показывают данные многолетних исследований и накопленный производственный опыт [2, 3, 7–9], при организации хозяйства в дубравах в связи с их разнообразием, обусловленным действующими природными факторами, особое внимание необходимо обращать образованию хозяйственных секций, являющихся в настоящее время основой проектирования мероприятий по уходу за лесом, охране, защите и воспроизводству лесов [5].

Поскольку дубравы произрастают в нескольких лесорастительных зонах (хвойно-широколиственная, лесостепная, степная и др.), различных по климатическим условиям, очевидна неизбежность образования в пределах ареала климатипов дуба черешчатого, особенности которых должны объективно учитываться в зональных системах ведения хозяйства.

На формирование экотипов дуба черешчатого оказывают влияние также почвенно-грунтовые условия, многообразие которых зависит от ряда факторов, в первую очередь рельефа местности. Исторически в разных условиях рельефа сформировались лесные формации, имеющие на протяжении каждого этапа жизненного цикла существенные отличия. Исходя из занимаемой площади, различий в биологии породы и хозяйственных мероприятиях, целесообразно выделить следующие экотипы дуба: нагорный (плакорный), байрачный и пойменный [2, 3, 7–9]. Следует также сказать о поздней и ранней формах дуба черешчатого. Наличие этих разновидностей не вызывает сомнения, но в материалах лесоустройства сведений о них нет, и, следовательно, в настоящее время достаточно сложно выделить их при проектировании.

Наряду с экотипом, на биологию породы и систему лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих ее жизнеспособность, оказывает влияние тип лесорастительных условий и тип леса. Вопросы типологии изучались на протяжении XX столетия. Основные моменты ведения хозяйства на зонально-типологической основе рассмотрены достаточно полно в трудах выдающихся ученых и практиков. Типологическая классификация дубрав построена по единому для всех зон принципу, при котором сочетаются типы лесорастительных условий и типы леса. Наиболее детальная схема типов лесорастительных условий для лесостепи разработана П.П. Кожевниковым [4], который все типы объединяет в семь рядов по степени плодородия почв. Каждый ряд распределяется на шесть типов по возрастающей влажности почв, что позволяет охватить все возможные сочетания ТЛУ и влажности. Таким образом, в пределах одного типа могут быть меняющиеся с возрастом древостоев один, два и даже три класса бонитета. В то же время древостои одинаковой производительности принадлежат к разным типам. Данное обстоятельство важно и с учетом того, что лесоустроительные работы в регионах проводили многие лесоустроительные предприятия, и, следовательно, возможны различия в индексации типов лесорастительных условий.

Помимо перечисленных критериев, при организации хозяйства следует учитывать происхождение и продуктивность с разделением дубрав на семенные и порослевые, а в их пределах на высоко- и низкоствольные в зависимости от класса бонитета, что особенно актуально в современных экономических условиях.

Учитывая многообразие дубрав, основываясь на результатах длительных исследований и накопленном производственном опыте, для реализации принципов, заложенных в Лесном кодексе [5], считаем необходимым деление дубовых лесов на хозяйственные секции: по биологическому виду;

происхождению – семенной и порослевой; производительности – высоко- и низкоствольный; местопрорастанию (экотипам) – нагорный, байрачный, пойменный. Сочетание критериев определяет возможные для европейской части РФ хозсекции (табл. 1).

Перечень хозсекций, приведенный в таблице, составлен для сочетания всех возможных экотипов. На практике неизбежно его сокращение, основанное на общих для региона условиях образования хозсекции и отсутствии отдельных экотипов. Производственная проверка предлагаемой системы в Воронежской, Курской и Белгородской областях подтвердила обоснованность предлагаемых подходов.

К сожалению, в принятой лесоустроительной инструкции [6] и приказе ФАЛХ от 19 февраля 2008 г. № 37 «Об установлении возрастов рубок» для такого сложного и многообразного объекта, как дубовые леса, при организации хозсекций учитывается всего один критерий – происхождение насаждений.

Таблица 1

## Перечень возможных хозсекций в дубравах

Экотип	Происхождение	Форма хозяйства	Класс бонитета	Условное обозначение хозсекции
Дуб нагорный	Семенной	Высокоствольная	Iа–III	ДН в/с 1
	Смешанный семенной не менее 50 %	«	Iа–II	ДН в/с 2
	Порослевой	«	II и выше	ДНП в/с 3
	Семенной	Низкоствольная	IV и ниже	ДН н/с 1
	Смешанный семенной не менее 50 %	«	III и ниже	ДН н/с 2
	Порослевой	«	То же	ДНП н/с 3
Дуб пойменный	Семенной	Высокоствольная	Iа–III	ДП в/с 1
	Семенной не менее 50%	«	Iа–II	ДП в/с 2
	Порослевой	«	II и выше	ДПП в/с 3
	Семенной	Низкоствольная	IV и ниже	ДП н/с 1
	Смешанный семенной не менее 50 %	«	III и ниже	ДП н/с 2
	Порослевой	«	То же	ДПП н/с 3
Дуб байрачный	Семенной	Высокоствольная	Iа–III	ДБ в/с 1
	Смешанный семенной не менее 50 %	«	Iа–II	ДБ в/с 2
	Порослевой	«	II и выше	ДБП в/с 3
	Семенной	Низкоствольная	IV и ниже	ДБ н/с 1
	Смешанный семенной не менее 50 %	«	III и ниже	ДБ н/с 2
	Порослевой	«	То же	ДБП н/с 3

Для эксплуатационных и защитных лесов устанавливают возрасты рубок, которые используют для распределения насаждений по классам и группам возраста [6], а также последующего определения в лесохозяйственных регламентах и лесных планах расчетных лесосек в спелых и перестойных насаждениях. Установление возрастов рубок, согласно ст. 81 ЛК РФ [5], относится к полномочиям органа государственной власти Российской Федерации. По приказу ФАЛХ от 19 февраля 2008 г. № 37 установлены следующие возрасты рубок: для дуба семенного в защитных лесах всех классов бонитета 121...140, в эксплуатационных 101...120 лет; для дуба порослевого соответственно 71...80 и 61...70 лет.. Они носят директивный характер и обязательны для исполнения. Как видим, данные возрасты рубок не учитывают экотипов и продуктивности дубрав и, как результат, особенностей проектирования и проведения лесохозяйственных мероприятий в них. Для дубрав лесостепной зоны они не соответствуют и основным принципам, заложенным в лесном законодательстве [5]. Поэтому в связи со стремительным сокращением площади дубовых лесов и преобладающей экологической и защитной ролью в ареале распространения особое внимание должно быть уделено их возобновительной, защитной и естественной спелости [1,3,7,9].

Основой для установления возрастов рубок в практике лесоустройства до 2008 г. являлся приказ бывшего Гослесхоза от 17.08.1978 г. № 114 «Оптимальные возраста рубок...», а для дуба пойменного (экотип дуба) также п. 5.8.2 лесоустроительной инструкции 1995 г. [2]. При этом учитывалась направленность на порослевое возобновление, и, как правило, принимаемые возрасты рубок были приближены к возобновительной и количественной спелостям.

Наличие дубовых равнинных (нагорных) низкоствольных лесов с соответствующими им признаками свойственно в целом дубравам юго-востока европейской части страны. Ряд исследователей указывают на необходимость снижения возраста рубок для подобных низкоствольных дубрав, ввиду более низких возрастов всех видов спелости. Многолетней практикой установлен и еще один факт, ранее не учтенный. Порослевые высокоствольные дубравы имеют возраст рубки, как минимум, на один класс выше по сравнению с низкоствольными и ниже – с семенными.

К аналогичным выводам в отношении равнинных лесов Северного Кавказа пришли участники технического совещания (1995 г.) по вопросам «Основных положений ведения хозяйства в горных лесах субъектов РФ Северо-Кавказского экономического района», где было рекомендовано установить возрасты рубок в равнинных дубравах на один класс ниже, чем в горных.

Исходя из возрастов возобновительной, защитной и естественной спелости и целевого назначения, для дубрав лесостепного района европейской части России мы рекомендуем возрасты рубок, представленные в табл. 2. Использование этих данных позволит установить возраст выборочных и сплошных рубок в эксплуатационных и защитных лесах лесостепного района европейской части России в увязке с их целевым назначением, видом использования и способом восстановления.

Таблица 2  
**Возраст рубки в лесостепном районе европейской части России**

Хозсекция	Действовавший до 2008 г., лет			Рекомендуемый, лет	
	Защитные леса	Эксплуатационные леса	Начало рубок обновления в защитных, исключенных из расчета главного пользования	Защитные леса	Эксплуатационные леса
ДН в/с 1	141...160	101...120	141	141...160	121...140
ДН в/с 2	141...160	101...120	141	121...140	101...120
ДНП в/с 3	101...120	–	101	101...110	91...100
ДП в/с 1	141...160	101...120	71	141...160	121...140
ДП в/с 2	141...160	101...120	71	121...140	101...120
ДПП в/с 3	71...80	–	71	91...100	81...90
ДБ в/с 1	141...160	101...120	81	141...160	121...140
ДБ в/с 2	141...160	101...120	81	121...140	101...120
ДБП в/с 3	81...90	–	81	101...110	91...100
ДН н/с 1	81...90	–	81	121...140	101...120
ДН н/с 2	81...90	–	81	101...120	81...100
ДНП н/с 3	81...90	–	81	81...90	71...80
ДП н/с 1	81...90	–	51	101...120	81...100
ДП н/с 2	81...90	–	51	101...120	81...100
ДПП н/с 3	81...90	–	51	71...80	61...70
ДБ н/с 1	81...90	–	61	121...140	101...120
ДБ н/с 2	81...90	–	61	101...120	81...100
ДБП н/с 3	81...90	–	61	81...90	71...80

В заключение следует отметить, что вырубка спелых дубовых лесов по пониженным возрастам без учета экотипов и продуктивности, несомненно, приведет к еще большему сокращению площади дубрав и снижению их экологического значения в лесостепной и степной зонах.

В принятых нормативных документах, к сожалению, не учтены изложенные моменты, что уже отрицательно отразилось на уровне ведения хозяйства, продуктивности и устойчивости дубовых лесов европейской части России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев, В.А. Дубравы европейской части России [Текст] / В.А. Бугаев, А.Л. Мусиевский, В.В. Царалунга // Лесн. журн. – 2004. – № 2. – С. 7–13. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч. 2. Камеральные работы [Текст]. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. – 112 с.
3. Калиниченко, Н.П. Дубравы России [Текст] / Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
4. Кожевников, П.П. Лесорастительное районирование водоохранной зоны [Текст] / П.П. Кожевников, М.А. Ефимова // Тр. ВНИИЛМ. – 1939. – Вып. 6. – 74 с.

5. Лесной кодекс Российской Федерации. Новая редакция [Текст]. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 64 с.

6. Лесоустроительная инструкция [Текст]. Утв. Приказом МПР России от 06.02.2008 № 31. – М., 2008. – 55 с.

7. Новосельцев, В.Д. Дубравы [Текст]: учеб. / В. Д. Новосельцев, В. А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.

8. Руководство по ведению хозяйства и восстановлению дубрав в равнинных лесах европейской части РФ [Текст] / под ред. Н.П. Калининченко. – М.: ВНИИЛМ, 2000. – 136 с.

9. Самойлов, Н.Ф. Основные положения систем ведения лесного хозяйства в дубравах различного целевого назначения с учетом формационного и зонально-типологического разнообразия, происхождения, состояния и устойчивости в современных экологических условиях [Текст] / Н.Ф. Самойлов. – Воронеж: ВГЛТА, 2007. – 69 с.

Поступила 10.06.08

*A.A. Musievsky, N.F. Samoilov*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

### **Organization of Management Sections and Cutting Age in Oak Groves of Forest-steppe Zone**

The necessity of organizing management sections is substantiated taking into account the ecotypes, origin and productivity of oak groves. The cutting age is offered for the forest-steppe zone according to management sections.

Keywords: oak groves, forest-steppe zone, ecotypes, management sections, cutting age.

---

УДК 547.979.7:582.475.2(470.13)

**В.В. Тужилкина, К.С. Бобкова**

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН

Тужилкина Валентина Васильевна родилась в 1949 г., окончила в 1973 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 100 печатных работ в области экологической физиологии древесных растений и углеродного цикла лесных экосистем Севера.  
E-mail: tuzhilkina@ib.komisc.ru



Бобкова Капитолина Степановна родилась в 1939 г., окончила в 1962 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 200 печатных работ в области экологии леса, биоразнообразия, структуры и биологической продуктивности хвойных фитоценозов, углеродного цикла лесных экосистем Севера.  
E-mail: bobkova@ib.komisc.ru



## ПРОФИЛЬНЫЙ ИНДЕКС В ФИТОЦЕНОЗАХ 2 ЛЕСНЫХ ЕЛЬНИКОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА\*

Приведены запасы ассимилирующих органов и проективное содержание хлорофилла в растениях коренных еловых сообществ Европейского Северо-Востока России. Показана изменчивость хлорофилльного индекса для старовозрастных еловых фитоценозов разных типов леса в подзонах северной и средней тайги.

*Ключевые слова:* север, ельники, тип леса, хлорофилльный индекс.

Одним из важных показателей, характеризующих особенности фотосинтетической активности растений в лесных сообществах, является степень развития фотосинтетического аппарата, которую можно оценить количеством хлорофилла в ассимилирующих органах на единице площади [7, 8]. Согласно современным представлениям проективное содержание зеленых пигментов (хлорофилльный индекс – ХИ) является информативным критерием фотосинтетической продуктивности, косвенно характеризующим аккумуляцию углерода в растительных сообществах. Положительная корреляция между проективным содержанием хлорофилла и первичной продукцией фотосинтеза позволяет использовать хлорофилльный индекс для оценки стока углерода в растительные ценозы [3, 6, 8, 10, 12, 13, 16]. Этот показатель принимается и при оценке состава растительности по аэро- и космическим снимкам. В литературе для наземных сообществ разных зон приводятся значения ХИ от 0,2 до 40,0 кг/га [17–19], для растительности

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 07-04-00104а) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН, № 16.

горной тундры от 3,3 до 9,7 кг/га [16]. Культурные растения на Севере образуют фитоценозы с ХИ от 13 до 28 кг/га [3].

На северо-востоке европейской тайги доминируют еловые фитоценозы – длительно существующие, самовозобновляющиеся экологические системы, представленные в основном типами зеленомошной и долгомошной групп [2, 14]. Для них характерен смешанный состав древостоя при доминировании ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). Как правило, участвуют также береза повислая (*Betula pendula* Roth.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), осина (*Populus tremula* L.), лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Древостои небольшой продуктивности, IV и V, редко III классов бонитета при полноте 0,5...0,8. Напочвенный покров формируется из растений, типичных для бореальных лесов Севера. Характерно почти сплошное покрытие мхами [1, 2]. Данные о ХИ фитоценозов коренных ельников единичны [2], для травяно-кустарничкового и мохового ярусов их вообще нет.

Цель нашей работы – определить хлорофилльный индекс в фитоценозах коренных ельников Севера. Исследования выполняли в основных типах еловых сообществ северной (64°30' с.ш. и 55°30' в.д.) и средней (62° с.ш. и 50°20' в.д.) подзона тайги Республики Коми. В табл. 1 приведена краткая характеристика древостоев исследуемых естественных фитоценозов.

Таблица 1

## Таксационная характеристика еловых фитоценозов

Тип леса	Состав древостоя	Возраст, лет	Густота древостоя, шт./га	Общий запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета	Полнота
Северная подзона тайги						
Черничный:						
свежий	5ЕЗЛц1Б1Ос+С	70...210	2083	223	V	0,75
влажный	6ЕЗЛц1Б1С+Ос	70...260	1882	214	V	0,80
Чернично-зеленомошный	5Е2Лц2Б1Ос+С	70...170	2460	166	V	0,75
Осоко-сфагновый	7ЕЗБ	70...300	1730	109	Va	0,65
Чернично-долгомошный	9Е1Б	110...200	770	129	V	0,60
Средняя подзона тайги						
Черничный:						
свежий	8Е2Б+С	80...200	2323	267	IV	0,86
влажный	7Е2Б1С	70...180	2160	220	IV	0,80
Долгомошный	7Е2Б1С	70...180	1858	170	V	0,78
Черничный	8Е1Б1Пх, ед. С	80...150	966	314	IV	0,86

Содержание пигментов измеряли спектрофотометрически (СФ-16, «ЛОМО», Россия) согласно методике [15]. Навеску растительной пробы (примерно 200 мг) фиксировали кипящим ацетоном в соответствии с методом Д.И. Сапожникова и др. [5]. Проективное содержание хлорофилла вы-

числяли из трех биологических повторностей определения его суммарного количества в хвое и листьях в пересчете на массу ассимилирующих органов на 1 га поверхности почвы, занимаемой сообществом. При определении ХИ фитоценозов проводили усреднение как по выборке из пробных площадей (не менее 9), так и из биологических повторностей (не менее 5).

Массу хвои и листьев древостоев определяли одновременно при изучении биологической продуктивности еловых сообществ [1, 10], используя метод модельных деревьев [11]. На каждой пробной площади проанализировано по 10...12 деревьев. В наиболее распространенных типах еловых лесов северной и средней тайги нами выявлена довольно тесная положительная связь между массой древесной зелени и диаметром дерева ели на высоте 1,3 м, коэффициенты корреляции 0,67...0,96. Для оценки зависимости выполнен регрессионный анализ. Эта связь выражается степенным уравнением  $y = ax^b$ , где  $y$  – масса древесной зелени;  $x$  – диаметр ствола;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты. Приемлемость уравнений определяли по корреляционному отношению  $R^2$ . Значения коэффициентов  $a$  и  $b$  для деревьев ели в разных типах сообществ приведены в табл. 2. Надземную фитомассу растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов определяли методом укусов на уровне почвы на участках площадью 400 см<sup>2</sup> в 40–50-кратной повторности.

Таблица 2

2\* **Коэффициенты для определения сухой массы хвои ели в зависимости от диаметра ствола**

Подзона тайги	Тип леса	Коэффициенты		Индекс корреляции
		$a$	$b$	
Северная	Черничный	0,128	1,589	0,972
	Долгомошный	0,100	1,602	0,895
Средняя	Черничный	0,111	1,637	0,945
	Долгомошный	0,059	2,024	0,992

Исследования пигментного фонда древесных растений показали неодинаковое накопление хлорофиллов хвойными, лиственными растениями и древостоями в целом. Ранее мы отмечали, что содержание пигментов зависит от возраста хвои, расположения ее в кроне, сексуализации побегов [4, 9]. Изменения определяются также условиями почвенного питания или типом леса. В табл. 3 приведены сравнительные данные о содержании хлорофилла в хвое и листьях древесных растений, произрастающих в еловых лесах различного типа. У ели в заболоченных типах леса северной тайги, развитых на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах, синтез пигментов снижен по сравнению с черничными, произрастающими на типичных подзолистых почвах. В условиях средней тайги различия в содержании хлорофилла по типам леса менее выражены. Пигментный фонд ели изменяется и в географическом плане: по мере продвижения от средней тайги к северной в хвое повышается концентрация хлорофиллов. Листья лиственных пород, которые, несомненно, играют значительную роль в продукции органического

вещества еловых фитоценозов, содержат в 2,5–3,0 раза больше хлорофилла по сравнению с хвоей ели. Средние арифметические значения содержания хлорофилла (мг на 1 г сухой массы) в ассимилирующих органах растений напочвенного покрова следующие:

Черника.....	5,68± 0,40
Брусника.....	3,64± 0,13
Травы.....	3,29± 0,30
Мхи:	
зеленые.....	3,79± 0,16
политриховые ...	1,21± 0,12
сфагновые.....	1,27± 0,10

Отмечается существенная дифференциация растений по содержанию зеленых пигментов, что проявляется в варьировании их концентрации от 1,2 до 5,7 мг/г сухой массы. Среди изученных видов повышенным содержанием хлорофилла характеризовались черника и брусника, а низким сфагновые мхи.

Проективное содержание хлорофилла в расчете на единицу площади насаждения в большей степени зависит от массы ассимилирующих органов, которая, в свою очередь, варьирует при изменении экологических условий. Так, в старовозрастных ельниках северной подзоны тайги масса хвои и листьев в свежем состоянии колеблется от 13 до 26, в средней от 27 до 36 т

Таблица 3

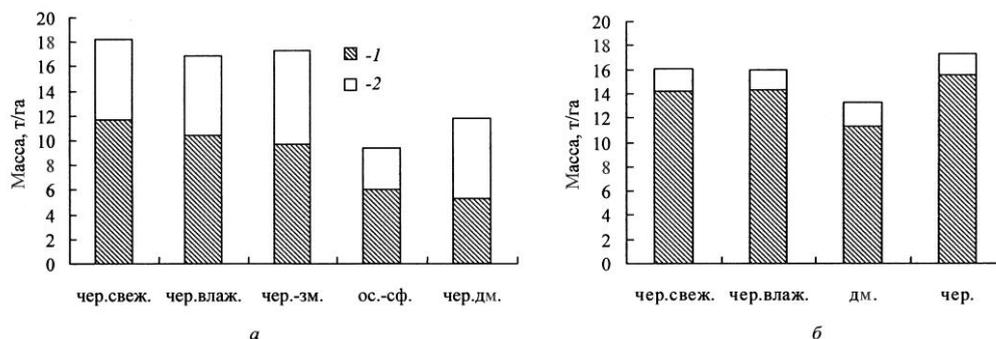
## Содержание хлорофилла, мг/г сухой массы

Тип леса	Ель	Сосна	Береза	Лиственница	Осина
Северная подзона тайги					
Черничный:					
свежий	1,39±0,04	1,27±0,14	4,75±0,16	2,02±0,06	4,50±0,12
влажный	2,03±0,12	1,31±0,13	3,20±0,14	–	–
Долгомошный	1,22±0,05	1,44±0,10	–	–	–
Средняя подзона тайги					
Черничный:					
свежий	1,68±0,14	1,23±0,08	4,88±0,58	–	4,61±0,74
влажный	1,42±0,11	1,32±0,30	5,31±0,27	–	–
Долгомошный	1,37±0,05	1,24±0,11	–	–	–

на 1 га в зависимости от типа леса. Масса абс. сухих хвои и листьев примерно в 2 раза меньше [1]. В исследуемых ельниках северной тайги абс. сухая масса ассимилирующих органов древесных растений в зависимости от типа леса составляет 5,3...10,4, а в ельниках средней тайги – 11,3...15,6 т/га. Сравнительная оценка показывает, что в древостоях одинакового возраста и близких типов леса масса хвои ели на 1 га в средней тайге почти в 1,5–2,2 раза выше, чем в северной. Меньшая масса листьев характерна для древостоев заболоченных, большая – для черничных типов леса. В целом масса хвои на 1 га больше в производительных древостоях, хотя количество ее на 1 м<sup>3</sup> древесины выше в низкопродуктивных типах леса.

Масса надземных органов растений нижних ярусов исследуемых

еловых фитоценозов северной тайги варьирует в пределах 3,3...7,6 т/га (см. рисунок). Кустарнички образуют 9...34 % фитомассы и состоят в основном из черники и брусники. На долю травянистых растений приходится лишь 0,7...17,0 %. Ведущая роль принадлежит мощному моховому покрову, который занимает 65...82 % растений нижних ярусов. В зеленомошной



Абс. сухая масса ассимилирующих органов в ельниках северной (а) и средней (б) подзон тайги: 1 – древесной; 2 – растения напочвенного покрова. Типы леса: чер.свеж. – черничный свежий; чер.влаж. – черничный влажный; чер.-зм. – чернично-зеленомошный; ос.-сф. – осоко-сфагновый; чер.-дм. – чернично-долгомошный; дм. – долгомошный; чер. – черничный

Таблица 4

Хлорофилльный индекс в еловых сообществах, кг/га

Тип леса	Древесной	Напочвенный покров	Всего
Северная подзона тайги			
Черничный:			
свежий	13,00	26,58	39,58
влажный	10,12	22,25	32,37
Чернично-зеленомошный	22,20	25,53	47,73
Осоко-сфагновый	8,40	6,46	14,86
Чернично-долгомошный	7,00	19,50	26,50
Средняя подзона тайги			
Черничный:			
свежий	26,61	7,10	33,71
влажный	24,80	5,61	30,41
Долгомошный	19,95	4,34	24,29
Черничный	27,20	6,10	33,30

группе типов леса средней тайги, где довольно сильна средообразующая роль ели, масса надземных органов растений нижних ярусов в 2–3 раза меньше, чем в северной, и составляет 1,1...1,8 т/га. Кустарнички накапливают 12...28, травы 0,7...3,7, мхи 70...85 % общей надземной массы растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов. В заболоченных типах леса запасы надземных органов растений напочвенного покрова северной и средней тайги сопоставимы.

Проективное содержание хлорофилла древесных растений на 1 га в спелых еловых древостоях северной тайги в зависимости от типа леса ко-

леблется от 7,0 до 22,2, средней – от 20,0 до 27,2 кг/га (табл. 4). Наибольшие значения ХИ древостоев отмечены в свежем ельнике черничном средней тайги, наименьшие в заболоченных ельниках северной тайги, что обусловлено неблагоприятными эдафическими условиями произрастания. В лесных сообществах важно оценить ХИ всех компонентов фитоценоза. Расчеты показали, что хлорофилльный индекс травяно-кустарничкового и мохового ярусов в еловых фитоценозах подзоны средней тайги изменяется незначительно. По мере продвижения на север, а также нарастания увлажнения почв, наряду с увеличением ассимилирующей массы напочвенного покрова, в особенности мохового яруса, проективное содержание хлорофилла в растениях нижних ярусов растительности увеличивается в 3–5 раз (см. табл. 4). Диапазон значений общего ХИ в среднетаежных еловых фитоценозах несколько меньше, чем в северотаежных.

Таким образом, проективное содержание хлорофилла в значительной степени определяется как развитием ассимиляционного аппарата и содержанием в нем зеленых пигментов, так и условиями произрастания и географическим положением растительных сообществ. В старовозрастных ельниках средней тайги основную роль в проективном содержании зеленых пигментов выполняют древостои, а в северной тайге – растения напочвенного покрова. Полученные нами данные позволят получить более полную количественную оценку фотосинтетического стока углерода в еловые сообщества Европейского Северо-Востока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобкова, К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока [Текст] / К.С. Бобкова. – Л.: Наука, 1978. – 156 с.
2. Коренные еловые леса Севера: биоразнообразие, структура, функции [Текст] / под ред. К.С. Бобковой, Э.П. Галенко. – СПб., 2001. – 278 с.
3. Куренкова, С.В. Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги Европейского Северо-Востока [Текст] / С.В. Куренкова. – Екатеринбург, 1998. – 113 с.
4. Ладанова, Н.В. Структурная организация и фотосинтетическая активность хвои ели сибирской [Текст] / Н.В. Ладанова., В.В. Тужилкина. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. – 97 с.
5. Метод фиксации и хранения листьев для количественного определения пигментов [Текст] / Д.И. Сапожников [и др.] // Ботан. журн. – 1978. – Т. 63. – С. 1586–1592.
6. Проектное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России [Текст] / П.Ю. Воронин [и др.] // Физиология растений. – 1995. – Т. 42. – С. 295–302.
7. Тарчевский, И.А. Основы фотосинтеза [Текст] / И.А. Тарчевский. – М.: Высш. шк., 1977. – 254 с.
8. Тарчевский, И.А. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы [Текст] И.А. Тарчевский, И.А. Андрианова // Физиология растений. – 1980. – № 2. – С. – 390–395.
9. Тужилкина, В.В. Пигменты хвои сосны и ели [Текст] / В.В. Тужилкина, А.В. Веретенников // Эколого-биологические основы повышения продуктивности таежных лесов Европейского Севера. – Л., 1981. – С. 108–119.

10. Тужилкина, В.В. Хлорофилльный индекс и фотосинтетический сток углерода в хвойные фитоценозы на Европейском Севере России [Текст] / В.В. Тужилкина, К.С. Бобкова, З.П. Мартынюк // Физиология растений. – 1998. – Т. 45, № 4. – С. 594–600.
11. Уткин, А.И. Биологическая продуктивность лесов [Текст] / А.И. Уткин // Лесоведение и лесоводство. – М., 1975. – Т. 1. – С. 9–190.
12. Хлорофилльный индекс и фотосинтетический сток углерода в леса северной Евразии [Текст] / П.Ю. Воронин [и др.] // Физиология растений. – 2004. – Т. 51, № 3. – С. 390–395.
13. Цельникер, Ю.Л. Хлорофилльный индекс как показатель годичной аккумуляции углерода древостоями леса [Текст] / Ю.Л. Цельникер, И.С. Малкина // Физиология растений. – 1994. – Т. 41. – С. 325–330.
14. Чертовской, В.Г. Еловые леса европейской части СССР [Текст] / В.Г. Чертовской. – М., 1976. – 176 с.
15. Шлык, А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев [Текст] / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.
16. Шамакова, Н.Ю. Сравнительная оценка листового и хлорофилльного индексов для определения годичной продукции органического вещества в сообществах горной тундры Хибин [Текст] / Н.Ю. Шамакова // Ботан. журн. – 2002. – Т. 87, № 3. – С. 85–98.
17. Anderson, M.C. Photon flux, chlorophyll content and photosynthesis under natural conditions [Text] / M.C. Anderson // Ecology. – 1967. – Vol. 48, N 6. – P. 1050–1052.
18. Kira, T. Primary production of forests [Text] / T. Kira // Photosynthesis and productivity in different environments. – Cambridge, 1975. – P. 5–40.
19. Lieth, H. Primary productivity of the Biosphere [Text] / H. Lieth, R.H. Whitaker // Ecological Studies. – Berlin, 1975. – Vol. 14. – P. 181–197.

Поступила 02.10.08

*V.V. Tuzhilkina, K.S. Bobkova*

Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of Russian Academy of Science

### **Chlorophyllous Index in Phytocenoses of Virgin Spruce Forests in European Northeast**

The stocks of assimilating organs and projective content of chlorophyll in the plants of virgin spruce communities of the European Northeast of Russia are provided. The variability of the chlorophyllous index for mature spruce phytocenoses of different forest types in the subzones of northern and middle taiga is demonstrated.

Keywords: north, spruce forests, chlorophyllous index.

---

УДК 630\*892.6 (571.6)

**Д.В. Изотов, Ю.Г. Тагильцев, Р.Д. Колесникова, В.А. Цюшко**

Дальневосточный НИИ лесного хозяйства

Изотов Денис Викторович родился в 1971 г., окончил в 1996 г. Хабаровский государственный фармацевтический институт, аспирант Дальневосточного НИИ лесного хозяйства. Имеет более 20 печатных работ по проблемам эфирных масел лекарственных лесных растений.

E-mail: izotovd@mail.ru



Тагильцев Юрий Григорьевич родился в 1938 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором недревесных ресурсов леса Дальневосточного НИИ лесного хозяйства. Имеет около 210 печатных работ по проблемам подсоски леса, эфирным маслам и лекарственным растениям.

E-mail: dvniilh@gmail.com



Колесникова Римма Дмитриевна родилась в 1932 г., окончила в 1955 г. Воронежский государственный университет, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоводства Дальневосточного НИИ лесного хозяйства. Имеет более 260 печатных работ в области исследования эфирных масел хвойных пород и лекарственных растений.

E-mail: dvniilh@gmail.com



### **БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ВИДОВ БАГУЛЬНИКА**

Изучен выход эфирного масла из отдельных частей растений багульника подбела и болотного, определен химический состав и органолептические свойства. Идентифицировано 40 компонентов. Показаны области его применения.

*Ключевые слова:* багульник подбел, болотный, эфирные масла, ледол.

Род багульник (*Ledum* L.) – вечнозеленые кустарники или кустарнички. По данным Н.В. Усенко [10], на Дальнем Востоке произрастают четыре его вида: болотный (*L. palustre* L.), распространенный в Приморье и Приамурье, по Охотскому побережью, на Камчатке, Чукотке, Командорских и Курильских островах; приземистый стелющийся (*L. decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud.) в Приморье, Приамурье, по Охотскому побережью, на Камчатке, Чукотке, Командорских островах, Сахалине и Курилах; крупнолистный (*L. macrophyllum* Tolm.) в Приморье, Приамурье, по Охотскому побережью, на Камчатке, Сахалине и Курилах; подбел (*L. hypoleucum* Kom.) в Приморье, Приамурье, на Сахалине. В промышленных целях наиболее перспективны багульники болотный и подбел.

Важной проблемой комплексного рационального использования лекарственных лесных ресурсов является переработка сырьевых источников для извлечения ценных биологически активных веществ. На российском Дальнем Востоке среди значимых эфирносов заслуживают внимания виды

рода *Ledum* L. Ряд работ посвящен багульнику болотному [1, 5, 6]. В Хабаровском крае этот вид встречается повсеместно, лекарственным сырьем служат облиственные побеги текущего года. По данным А.И. Шретера [11, 12], на Дальнем Востоке возможна заготовка многих тонн сырья, срок годности которого в сухом виде составляет 3 года.

Состав и свойства эфирного масла (ЭМ) багульника исследованы фрагментарно. Ф.А. Васильев [2] изучал динамику изменения выхода и физико-химические характеристики ЭМ багульника болотного. Н.И. Супрунов, П.Г. Горовой и Ю.А. Панков [8] сообщали о выходе эфирных масел из различных его частей. Н.П. Кирьялов [4] выделил из ЭМ и изучил сесквитерпеновый спирт палюстрол, являющийся изомером левола, впоследствии полученного Ф.А. Васильевым [2]. Багульниковое эфирное масло обладает противокашлевым, антимикробным, гипотензивным, противовоспалительным действием [1, 6]. В народной медицине багульник применяется против коклюша, хронического ревматизма, при болях в желудке. В гомеопатии из молодых побегов готовят лекарства от ушибов, ранений, кровотечения и ревматизма, однако применение препаратов требует большой осторожности, так как они обладают ядовитыми свойствами [9]. В официальной медицине используется надземная часть багульника болотного в виде настоя как отхаркивающее средство при бронхитах и других заболеваниях, сопровождающихся кашлем.

О лечебных свойствах багульника подбела опубликованы лишь единичные работы. Так, Г.Г. Вострикова и И.А. Востриков [3] указывают на использование в нанайской народной медицине концентрированных отваров из молодых веточек для избавления от лишая и кожных повреждений, а также как отхаркивающего и успокоительного средства.

На Дальнем Востоке возможна заготовка многих тонн надземной части багульника подбела, что позволяет организовать работу в промышленных масштабах.

Целью нашего исследования было изучение химического состава, выхода ЭМ багульника болотного и подбела как эфирномасличного сырья. Растительное сырье для исследований – облиственные побеги, цветки и плоды – собирали в Хабаровском и Приморском краях на моховых болотах, в лиственничниках. Для извлечения ЭМ брали образцы сырья от 1,8 до 6,5 кг. Эфирное масло получали методом гидродистилляции на крупнолабораторной установке, способ его получения запатентован [7]. Содержание ЭМ рассчитывали в процентах от массы сухого сырья. Состав исследовали хроматографическим методом на отечественных и зарубежных хроматографах типа «Цвет», хроматографе 3760 модели 1, а также приборе фирмы «Shimadzu». Разделение масел проводили на капиллярной колонке длиной 50 м, диаметром 0,02 мм, фаза – SE-30; температура колонки в изотермическом режиме – 100; испарителя – 160; детектора – 170 °С; программирование температуры – 3 °С/мин; объем пробы – 1 мкл; чувствительность –  $64 \times 10^{-11}$  А; продолжительность анализа – 45...50 мин.

ИК-спектры сняты на спектрофотометре ИК-20; УФ-спектры – на спектрофотометре 700С. Компоненты идентифицировали по физико-химическим константам, параметрам удерживания, сравнимым с литературными данными. Показатель преломления определяли на рефрактометрах «Abbe-Zeiss» и ИРФ-22. Содержание борнилацетата и кумаринов определяли по ТУ 56-00969497-002-93, а также методом газожидкостной хроматографии.

Кислотное число находили по ГОСТ 17.823-1–72. Количественный анализ проводили методом внутренней нормализации. Для всех анализируемых характеристик рассчитывали средние значения. Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики.

В соответствии с Государственной фармакопеей 1990 г. содержание эфирного масла в сырье, предназначенном для получения ледина, должно быть не менее 0,7, а ледола в нем – не менее 17 %.

Результаты нашего исследования представлены в табл. 1. Для сравнения изучен выход ЭМ из надземной части багульника болотного, показатели которого близки к полученным ранее [8]. Выделяется более продуктивный по выходу багульник подбел. Значительные колебания выхода отмечены в отдельных частях растений. У обоих видов багульника наиболее продуктивны листья и цветки.

Таблица 1

**Выход эфирных масел из растительного сырья багульника**

Сырье	Выход ЭМ из абс. сухой массы багульника, %	
	болотного	подбела
Листья первого года	1,20...8,00	1,30...7,00
« второго года	0,20...1,35	0,40...0,52
Стебли первого года	0,10...1,40	0,30...1,80
« второго года	0,10...0,20	0,10...0,40
Цветки	1,80...2,20	2,00...2,60
Плоды	0,17...0,20	0,15...0,25
Надземная часть	0,26...0,34	0,43...0,45

Таблица 2

**Результаты статистической оценки физико-химических характеристик эфирного масла багульника подбела**

Физико-химические показатели	Среднее арифметическое	Среднее квадратическое отклонение	Ошибка среднего значения	Коэффициент вариации	Показатель точности, %
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	0,911	0,021	0,005	2,25	0,6
Кислотное число, мг КОН	3,44	0,510	0,170	15,00	4,9
Сумма сложных эфиров, %	20,42	2,230	0,740	8,00	3,0
Показатель преломления при 20 °С	1,49	0,001	0,001	0,01	0,1

Кумарины, %	4,20	0,840	0,300	19,00	4,8
Многоатомные спирты, %	9,25	0,510	0,170	6,00	2,0

По нашим данным, эфирное масло багульника подбела – прозрачная жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета с приятным стойким цветочным ароматом. Плотность масла 0,878...0,930 г/см<sup>3</sup>; показатель преломления 1,4820...1,4952; кислотное число 3,0...10,0; сумма сложных эфиров 5,0...9,0; спиртов 2,0...12,0; кумаринов 1,5...3,0 %. Результаты статистической обработки представлены в табл. 2.

Исследованиями установлено снижение выхода ЭМ у багульников подбела и болотного в летнее время и повышение к осени (см. рисунок). Вероятно, идет накопление к зимнему периоду.

В работах, посвященных изучению химического состава ЭМ багульника, можно отметить большое разнообразие его компонентов. Методом газожидкостной хроматографии в эфирном масле подбела мы обнаружили свыше 200 компонентов (табл. 3, 4).

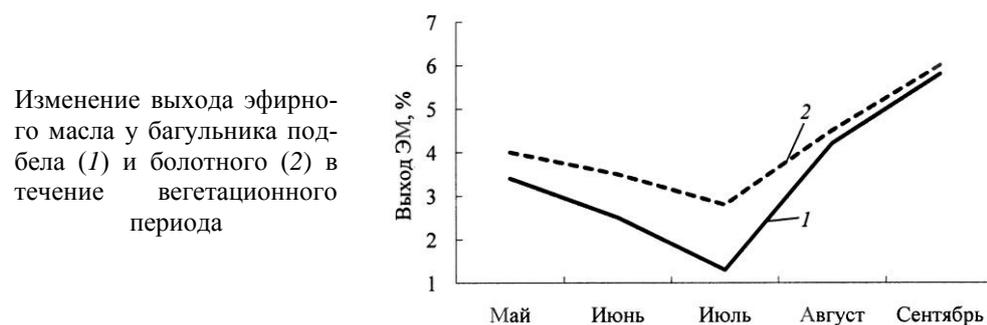


Таблица 3

Содержание идентифицированных компонентов ЭМ  
в надземной части багульника подбела

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Трициклен	0,19	Тимол	0,15
Сантен	0,23	Карвакрол	0,13
$\alpha$ -пинен	0,94	Цитронеллоацетат	0,67
Сабинен	0,07	Геранилацетат	0,96
$\beta$ -пинен	3,82	$\gamma$ -элемен	0,57
Мирицен	6,03	Кариофиллен	0,15
$\alpha$ -фелландрен	0,93	$\alpha$ -гумулен	0,13
<i>n</i> -цимол	1,90	Аромадендрен	0,20
$\alpha$ -терпинен	0,03	Куркумен	0,17
$\beta$ -терпинен	0,77	$\gamma$ -муролен	0,80
Лимонен	6,79	$\gamma$ -кадинен	0,76

β-фелландрен	4,59	σ-кадинен	0,40
о-цимен	0,43	Каламенен	0,99
γ-терпинен	0,49	Палюстрол	16,10
Терпинолен	1,00	Спагуленол	0,23
Линалол	0,10	Ледол	18,80
Сабинен-гидрат	0,02	Эпикубенол	0,93
Карвен	0,95	Циклоколоренол	0,40
Гераниол	0,07	Неидентифицированные	
Линалилацетат	0,22	компоненты	32,38
Борнилацетат	10,92		

Идентифицировано 40 компонентов ЭМ багульника подбела, которые представляют 67,6 % состава. Среди неидентифицированных лишь 5 присутствуют в количестве от 1 до 5 %, а остальные проявляются на хроматограммах в минимальных количествах – от 0,01 до 0,9 %. Идентифицированные компоненты представлены β-пиненом (3,82 %), мирценом (6,03 %), лимоненом (6,79 %) и β-фелландреном (4,59 %).

Среди двух сотен минорных компонентов доминируют палюстрол (16,1 %) и ледол (18,8 %). Наличие других соединений, вероятно, придает маслу багульника не только тончайший аромат сложной композиции, но и разнообразные лечебные свойства.

Ряд авторов отмечали непостоянство состава ЭМ для багульника болотного и колебания его состава в зависимости от места произрастания. В наших опытах существенных колебаний доминирующих компонентов в составе масла не отмечено, хотя наблюдалось их некоторое уменьшение в образцах сырья, взятых на восточных склонах Сихотэ-Алиня по сравнению с западными (табл. 4).

Багульник подбел может быть использован как лекарственное сырье для получения ледола, а его эфирное масло можно применять в ароматерапии и парфюмерии.

Таблица 4

**Состав доминирующих компонентов ЭМ багульника подбела, произрастающего на макросклонах хребта северного Сихотэ-Алиня, %**

Компонент	Западные склоны	Восточные склоны
β-пинен	3,82	2,95
Мирцен	6,03	5,62
β-фелландрен	4,59	3,95
Палюстрол	16,10	15,40
Ледол	18,80	16,70

В медицинском центре ОАО «Хабаровскэнерго» проводятся компьютерные исследования на добровольцах в целях изучения возможности использования багульникового масла в лечебной практике. В системе «ИМЕДИС» получены положительные результаты воздействия ЭМ багуль-

ника подбела при лечении заболеваний верхних дыхательных путей, печени и желудочно-кишечного тракта. ЭМ обладает широким спектром фармакологического действия: противомикробным, отхаркивающим, сосудорасширяющим. Оно может быть использовано при лечении бронхита, коклюша, пневмонии; перспективно также использование при заболеваниях суставов. Эфирное масло багульника подбела в 10 %-м растворе растительного масла, по нашим наблюдениям, оказывает положительное действие при лечении острых ринитов, гриппа и бронхиальной астмы.

Таким образом, выход ЭМ из различных частей растения (надземная часть, листья, стебли, цветки, плоды) багульников подбела и болотного, произрастающих в северной части хребта Сихотэ-Алиня, колеблется от 0,26 до 7,00 %. Максимальное его количество отмечено в листьях первого года у багульника подбела.

В масле багульника подбела обнаружено свыше 200 химических соединений, из которых идентифицировано 40. Доминируют  $\beta$ -пинен, мирцен,  $\beta$ -фелландрен, палюстрол, ледол (от 3,0 до 19,0 %). Большинство компонентов содержится в минорных количествах (от 0,01 до 1,00 %). Образцы, собранные на западных и восточных склонах северного Сихотэ-Алиня, отличаются по составу доминирующих компонентов ЭМ.

Испытания ЭМ в системе «ИМЕДИС» показали возможность его широкого применения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусова, Н.И. Химический состав эфирного масла багульника [Текст] / Н.И. Белоусова, В.А. Хан, А.В. Ткачев // Химия растит. сырья. – 1999. – № 3. – С. 5–38.
2. Васильев, Ф.А. Фитонцидные свойства эфирного масла и подмасляной конденсационной воды [Текст] / Ф.А. Васильев // Тр. Арханг. лесотехн. ин-та. – Архангельск, 1957. – С. 192–195.
3. Вострикова, Г.Г. Медицина народов Дерсу [Текст] / Г.Г. Вострикова, И.А. Востриков. – Хабаровск: Хабаров. кн. изд-во, 1971. – 37 с.
4. Кирьялов, Н.П. Химический состав багульника болотного (*Ledum palustre* L.) из Саян [Текст] / Н.П. Кирьялов, Т.Н. Нетупская // Тр. БИН АН СССР. – 1961. – Вып. 9. – С. 169–174.
5. Клокова, Н.В. Содержание ледола в растениях рода *Ledum* L. [Текст] / М.В. Клокова, В.С. Кабанова // Химия природ. соединений. – 1981. – № 5. – С. 666–667.
6. Коновалова, О.А. Биологически активные вещества *Ledum palustre* L. [Текст] / О.А. Коновалова, К.С. Рыбалко // Растит. ресурсы. – 1987. – Т. 23, вып. 2. – С. 295–309.
7. Пат. 2080362 Российская Федерация, RU (МКИ) С 11 В 9/02. Способ получения эфирного масла из багульника [Текст] / Тагильцев Ю.Г., Колесникова Р.Д., заявители и патентообладатели. – № 93011608/13, заявл. 02.03.93; опубл. 27.05.97, Бюл. № 15. – 4 с.: ил.
8. Супрунов, Н.И. Эфирномасличные растения Дальнего Востока [Текст] / Н.И. Супрунов, П.Г. Горовой, Ю.А. Панков. – Новосибирск: Наука, 1972. – 187 с.

9. *Тагильцев, Ю.Г.* Дальневосточные растения – наш доктор [Текст] / Ю.Г. Тагильцев, Р.Д. Колесникова, А.А. Нечаев. – Хабаровск: Изд-во «Артек-Медиа», 2004. – 520 с.

10. *Усенко, Н.В.* Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока [Текст] / Н.В. Усенко. – Хабаровск: Хабаров. кн. изд-во, 1969. – 415 с.

11. *Шретер, А.И.* Лекарственная флора советского Дальнего Востока [Текст] / А.И. Шретер. – М.: Медицина, 1972. – 328 с.

12. *Шретер, А.И.* Целебные растения Дальнего Востока и их применение [Текст] / А.И. Шретер. – Владивосток: Дальпресс, 2000. – 113 с.

Поступила 22.12.08

*D.V. Izotov, Yu.G. Tagiltsev, R.D. Kolesnikova, V.A. Tsyupko*  
Far-Eastern Scientific-research Institute of Forestry

### **Biologically Active Substances of Far-Eastern Labrador Tea**

The essential oil yield from separate parts of ledum butterbur and marsh tea is studied and the chemical composition and organoleptic properties are determined. 36 components are identified. The fields of its application are shown.

Keywords: ledum butterbur, marsh tea, essential oils, ledol.

---

УДК 630\*2:674.032.477.624.2+575.174.015.3

**О.С. Барзут, М.В. Сурсо**

Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Барзут Оксана Степановна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры географии и геоэкологии Поморского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Имеет около 20 печатных работ в области исследования морфологии и экологии можжевельника обыкновенного.

E-mail: Barzut@agtu.ru

Сурсо Михаил Вольдемарович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической биологии Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет около 50 печатных работ в области исследования эмбриологии голосеменных и генетики популяций.

E-mail: surso@iepn.ru



### **ДРЕВОВИДНЫЙ МОЖЖЕВЕЛЬНИК НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ\***

Приведены результаты изучения редкой древовидной формы можжевельника обыкновенного на Европейском Севере России. Дано морфометрическое описание растения и высказано предположение о природе данного явления.

*Ключевые слова:* можжевельник обыкновенный, древовидная форма, биометрические показатели, прирост, аллозимный полиморфизм.

Общие описания внешнего облика и хода роста древовидной формы можжевельника обыкновенного в литературе представлены единично [3, 5, 6]. Вероятнее всего, признак древовидной формы контролируется редкими рецессивными генами. Поскольку у можжевельников гейтоногамия исключена конституционно, для проявления признака в фенотипе теоретически необходимо наличие хотя бы одного такого гомологического аллеля в гено- типе как материнского, так и отцовского индивидуумов. Пыльца у можже- вельников, лишенная воздушных мешков, не может разлетаться слишком далеко, и вероятность успешного опыления уменьшается в геометрической прогрессии с удалением модулятора пыльцы от реципиента. Получить диплоид с двумя редкими рецессивными аллелями одного гена можно в случае произрастания двух разнополых особей, несущих такие аллели, в не- посредственной близости друг от друга. Вероятность такого события во много раз ниже по сравнению с частотой встречаемости данного аллеля в по- пуляции. Кроме того, необходимо, чтобы потенциальные родители, пережив цепь событий в ювенильном возрасте, преодолев всевозможные риски, благо- получно достигли зрелости и, возможно, при благоприятном стечении ряда обстоятельств сформировали полноценные генеративные органы с жизнеспособными гаметам. Только после этого, спустя долгие годы, вокруг роди-

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 09-04-00371-а.

тельской пары может появиться компактная группа особей с заданным генотипом признаком, если, конечно, условия произрастания позволят ей реализовать свой потенциал. Очевидно, что все древовидные особи в такой группе будут *de facto* являться родными братьями и сестрами, или их потомками. Если допустить почти невероятный случай совместного произрастания трех родительских особей, имеющих в генотипе рецессивный ген (гены) древовидности (две женские особи и одна мужская, или наоборот), то все произведенное ими потомство будет либо такими же полноценными сибсами, либо полусибсами. Несмотря на кажущуюся простоту проверки исходного предположения, его доказательство представляет значительные экспериментальные трудности, поскольку процессы роста и дифференциации сложного многоклеточного индивидуума являются продуктом реализации деятельности не одного, но многих генов, а также взаимодействия генотипа и среды обитания. Поэтому в настоящем исследовании делается лишь попытка приблизиться к решению одной из загадок, предложенных природой.

Можжевельники (обыкновенный, сибирский и их спонтанные гибриды) с разной степенью выраженности древовидной формы в границах своего ареала распространены почти повсеместно на территории Европейского Севера России. Однако типичные взрослые древовидные особи встречаются крайне редко.

Участок древовидных можжевельников обследован на территории Плесецкого района Архангельской области (средняя подзона тайги). Растения здесь произрастают компактными группами на пологих склонах с проточным увлажнением на месте старой вырубki. Тип леса до рубки древостоя – ельник травяно-сфагновый. Почва – торфяно-глеявая низинная на песке. На высокую трофность почвы указывают ее генетические горизонты, характеризующиеся средней и сильной степенью разложения торфа, наличием гумусового горизонта, встречаемостью углей до 31 см по глубине профиля. Проточный характер увлажнения, обогащение почвы зольными элементами после пожаров, наличие карбонатов в нижних минеральных горизонтах обусловили здесь богатое видовое разнообразие растений напочвенного покрова и подлесочных пород.

Биометрические показатели можжевельников древовидной формы, достигших на высоте груди диаметра 5 см и более, по высоте и диаметру определены для живых и сухостойных растений, а по всем другим параметрам только для живых (табл. 1). Все учтенные растения распределились по 2-сантиметровым ступеням толщины от 6 до 24 см. Средняя высота можжевельника составила  $7,6 \pm 0,4$  м (максимальная 13,3 м у растения с диаметром 18 см). Средний диаметр  $10,7 \pm 0,7$  см (максимальный 23,0 см у растения высотой 8,8 м). Связь между диаметром ствола и высотой очень тесная ( $r = 0,897$ ). Возраст растений, установленный по спилам сухостойных деревьев и кернам, колеблется от 35 до 156 лет (средний 94 года), что свидетельствует о разновозрастной структуре данного сообщества.

Таблица 1

**Биометрические показатели можжевельника обыкновенного**

Ступень толщины, см	Высота, м	Диаметр кроны, м	Протяженность кроны		Высота прикрепления первой ветви, см	
			абсолютная, м	относительная, %	сухой	живой
6	5,1	1,3	3,7	77,5	40	236
8	6,5	2,1	3,8	56,8	58	233
10	7,0	2,0	5,3	72,1	60	290
12	8,8	2,5	7,3	82,8	44	239
14	9,3	1,9	6,7	73,9	37	224
18	11,8	2,6	1,9	14,0	180	700
24	8,8	3,9	7,0	80,0	42	220

Текущий средний прирост по высоте можжевельника (см в год) имеет следующие значения по возрастным периодам (лет):

≤ 30	12,6	60...70	7,1	100...110	4,8
30...40	16,3	70...80	6,9	110...120	3,7
40...50	6,8	80...90	6,4	120...130	2,3
50...60	7,0	90...100	5,7	130...140	0,6

Анализ динамики хода роста свидетельствует о цикличности его интенсивности. Наиболее интенсивный линейный прирост наблюдается у деревьев до 40 лет, максимальный в 30...40 лет (в среднем 16,3 см в год). У 40–90-летних растений прирост снижается более чем в два раза, но отличается стабильностью (от 6,4 до 7,1 см в год). С достижением 90–100-летнего возраста нарастание верхушечного побега заметно замедляется (менее 5,7 см в год).

Ход роста можжевельников древовидной формы по высоте и диаметру изучали Д.Н. Данилов в Республике Марий Эл [2], А.П. Шиманюк и Л.М. Перелыгин [5] в Костромской области, А.П. Шиманюк и В.А. Жанет [6] в Нижегородской области. Исследованные нами экземпляры, произрастающие значительно севернее, не уступают по темпам роста особям из указанных регионов.

А.П. Шиманюк и Л.М. Перелыгин [5] указывают на максимальный текущий прирост по высоте и диаметру у растений в возрасте до 50 лет, при этом средний прирост в высоту составляет около 12,9 см, что ниже полученных нами значений. Радиальный прирост с возрастом равномерно увеличивается. Зависимость между высотой деревьев и возрастом аппроксимируется уравнением параболы третьего порядка:  $y = -0,0004x^3 + 0,0738x^2 + 2,5653x + 243,8$ , а между диаметром и возрастом подчиняется линейной функции:  $y = 0,0959x + 2,0839$ .

Форма ствола у всех растений строго прямая (рис. 1, 2). Интересен тип ветвления и угол прикрепления ветвей, которые отходят от ствола под углом 90° или более, как бы прижимаясь к нему снизу. У отдельных деревьев обнаружено спиралевидное расположение ветвей (рис. 3).

Средняя продолжительность жизни хвои у древовидных форм можжевельника ( $6,9 \pm 0,2$  лет) чуть выше, чем у кустарниковых, произрастающих в том же районе (от  $5,5 \pm 0,1$  до  $6,0 \pm 0,2$  лет), и характеризуется низким уров-

нем изменчивости ( $CV = 11,8 \%$ ). Относительная протяженность кроны, как и у кустарниковых форм, в среднем составляет около 80 %. У большинства деревьев (85,4 %) кроны ажурные, но при более плотном стоянии среди елей изреживаются до рыхлых (4,9 %) и легких сквозистых (7,3 %). Лишь 2,4 % растений, произрастающих в основном на более или менее открытых участках, формируют густую крону. У древовидных можжевельников форма кроны несколько иная, чем у кустарниковых в подлеске. У первых наиболее типична конусовидная форма (31,8 %) и ее различные вариации, в основном узкоконусовидная (26,8 %) и ширококонусовидная (2,4 %).



Рис. 1. Прямой угол прикрепления ветвей у можжевельника древовидной формы



Рис. 2. Форма ствола древовидного можжевельника

Яйцевидная (19,5 %) и широкояйцевидная (17,1 %) кроны характерны для молодых растений высотой до 3 м. На данном участке обнаружен экземпляр (женский), резко отличающийся по внешнему виду. Это густоохвоенное деревце с колонновидной формой кроны высотой 3,87 м и диаметром 5,7 см, с мягкой, слегка прижатой к побегам хвоей темно-зеленого цвета. Хвоя всех других можжевельников более длинная и жесткая, сизовато-зеленая, отстоит перпендикулярно побегам, охвоен-



ность которых значительно ниже, чем у колонновидного растения.

Согласно классификации А.И. Колесникова [3], по общему габитусу исследованных древовидных можжевельников выделены три их формы: *Juniperus communis* f. *cracovica* Gord. (краковицкая) – быстрорастущие деревья (95,2 % от всех исследованных); *J. communis* f. *hibernica* Gord. (исландская) – экземпляры с густой колонновидной кроной и менее колючей хвоей (2,4 %); *J. communis* f. *suecica* Loud. Ait. (шведская) – деревья менее интенсивного роста, ширококолонновидной формы, типичные для европейской части России (2,4 %).

Рис. 3. Спиралевидный тип ветвления можжевельника древовидной формы

Все обследованные деревья семенного происхождения. Как и у кустарниковых форм, доминируют стерильные (не плодоносящие) особи. На данном участке соотношение мужских и женских особей одинаково (по 26,8 %), а стерильные составляют большинство – 46,4 %. Характерно, что у женских экземпляров преобладают конусовидная и широкояйцевидная формы кроны (по 36,4 %), а у мужских – конусовидная (54,5 %) и яйцевидная (18,2 %). Стерильные растения чаще имеют узкоконусовидные кроны (47,4 %), хотя и другие формы представлены достаточно широко. Женские особи древовидных можжевельников отличаются крайне низким репродуктивным потенциалом (2...72 шишковаягоды на особь).

Исследованный участок был пройден низовым пожаром неизвестной давности, а также подвергался ветровалу. На момент обследования осталось 41 живое растение (77,4 %), отпад в виде сухостойных деревьев и валежника составил 22,6 % от всех учтенных. Летом 2008 г. много деревьев погибло из-за так называемой зимней засухи 2007/08 гг.

Для изучения аллельного состава генов популяции древовидных можжевельников использовали метод электрофоретического анализа изоферментов. Всего было исследовано 18 ген-ферментных систем: алкогольдегидрогеназа (ADH, 1.1.1.1),  $\alpha$ -амилаза ( $\alpha$ -AMY, 3.2.1.1), аспартатаминотрансфераза (AAT, 2.6.1.1), глутаматдегидрогеназа (GDH, 1.4.1.2), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа (G-6-PD, 1.1.1.49), глюкозофосфатизомеразы (GPI, 5.3.1.9), диафараза (DIA, 1.6.4.3), изоцитратдегидрогеназа (IDH, 1.1.1.42), каталаза (CAT, 1.11.1.6), лейцинаминопептидаза (LAP, 3.4.11.1), малатдегидрогеназа (MDH, 1.1.1.37), малик-энзим (ME, 1.1.1.40), супероксид-дисмутаза (SOD, 1.15.1.1), 6-фосфоглюконатдегидрогеназа (6-PGD, 1.1.1.44), фосфоглюкомутаза (PGM, 2.7.5.1), фосфоорилаза (PHO, 2.4.1.1), шикиматдегидрогеназа (SkDH, 1.1.1.25), эстераза (EST, 3.1.1.1).

Анализ выполнен с использованием соматических тканей (хвои), имеющих материнский диплоидный тип. Гомогенизация проведена в стеклянных гомогенизаторах на льду. Состав экстрагирующего буфера зависел от выявляемых ферментов и обычно представлял собой гелевый буфер или 0,05М трис-НСl буфер, рН 8,0, в которые добавляли 0,00363М дитиотрейтола для защиты SH-групп ферментов, 0,00318М аскорбиновой кислоты, 0,5814М сахарозы, 0,000456М динатриевой соли ЭДТА для связывания ионов двухвалентных металлов [4]. Для нейтрализации фенолов в состав буфера вво-

дили небольшое количество поливинилпирролидона. Объем экстрагирующего и навеска хвои для анализа каждого индивидуума были постоянными. Гомогенаты оставляли на ночную экстракцию в холодильнике. Для электрофореза использовали супернатанты, полученные в результате центрифугирования при 8000 об/мин в течение 20 мин. Их хранение допускалось при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  не более 7 дн., при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  не более 1 мес. Перед электрофорезом супернатанты (гомогенаты) разбавляли в соотношении 1:1 60 %-м забуференным раствором сахарозы, слегка подкрашенным БФС.

Электрофорез проводили в камерах с вертикальной ориентацией параллельных пластин полиакриламидного геля (ПААГ) конструкции Трувеллера – Нефедова [4]. При использовании трис-глицинового буфера, pH 8,7, применяли методику формирования двухслойного ПААГ (8,0 %-й разделяющий и 2,5 %-й концентрирующий гели), составленную на основе прописи C.R. Shieldes, T.J. Orton и S.W. Stuber [8]. Если использовали трис-ЭДТА-боратный буфер, pH 8,4, электрофоретическое фракционирование проводили в однослойном 8,0 %-м ПААГ. Режимы электрофоретической разгонки для каждого фермента подбирали эмпирически. В качестве источника постоянного тока для электрофореза использовали трансформатор производства СЭЛТА Лтд., программируемый по напряжению, силе тока и мощности, автоматически стабилизирующийся по одному из указанных параметров. Скорость электрофореза определяли визуально по скорости движения полосы БФС. Число треков устанавливали эмпирически, оно зависело от тех ферментов, которые выявлялись при последующем инкубировании гелей.

По окончании электрофореза гелевые пластины помещали в кюветы с инкубирующими растворами, в которых окрашивали на соответствующие ферменты. Для приготовления инкубирующих растворов использовали общеизвестные прописи, данные в обзорах [1, 7, 8]. Основой инкубирующих растворов, компонентов гелей и буферных растворов стали свежие сертифицированные реактивы и препараты производства Sigma-Aldridge, ICN, AppliChem и других фирм. Окрашенные пластины промывали, фиксировали в совместимых фиксаторах и зарисовывали.

Полученные результаты свидетельствуют об аномально низком уровне генетического полиморфизма в микропопуляции древовидных можжевельников. Только для половины исследованных ген-ферментных систем удалось добиться удовлетворительного окрашивания изоферментных фракций при инкубировании гелевых пластин. Из 15 изученных локусов только два (Gdh и Est-A) оказались полиморфными, все остальные – мономорфные. Средняя наблюдаемая гетерозиготность по всем изученным локусам составила всего 3,5 %, среднее число аллелей на локус – 1,1.

Результаты изучения генетического полиморфизма пяти географически изолированных популяций можжевельника (обычной, не древовидной формы) в Архангельской области приведены в табл. 2. Для анализа использовали гаплоидные ткани (эндоспермы), т. е. фактически речь идет о генетической структуре женских субпопуляций можжевельника.

Таблица 2

**Генетическая изменчивость можжевельника в природных популяциях**

Популяция	Гетерозиготность, %	Среднее число	Коэффициент
-----------	---------------------	---------------	-------------

	наблю- даемая	ожидаете- мая	аллелей на локус	инбридинга
Ижма	25,0	44,8	3,0	0,44
Плесецк	31,0	39,9	3,1	0,30
Соловецкие о-ва	17,2	37,9	2,5	0,48
Онега	27,5	40,5	2,9	0,48
Беломорско- Кулойское плато	30,4	28,0	2,3	0,13

Таким образом, можно говорить о гомозиготизации микропопуляций древовидных можжевельников. Очевидно, что природа этого явления кроется в гипертрофированном инцухте, когда на компактной, каким-то образом генетически изолированной территории среди группы индивидуумов в течение длительного времени осуществляется исключительно близкородственное скрещивание. При этом механизмы изоляции могут быть совершенно непредсказуемыми и поэтому требуют отдельного изучения. Вероятнее всего, причина такой изоляции кроется в каких-то особенностях женской или одновременно женской и мужской репродуктивных сфер лузусов, но не исключено, что может быть и иной, совершенно неожиданной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко, Г.Г. Руководство по исследованию хвойных видов методом электрофоретического анализа изоферментов [Текст] / Г.Г. Гончаренко, В.Е. Падуртов, В.В. Потенко. – Гомель, 1989. – 164 с.
2. Данилов, Д.Н. К биологии можжевельника [Текст] / Д.Н. Данилов // Природа и социалистическое хозяйство. Ч. I. – М., 1941. – Т. 8. – С. 363–378.
3. Колесников, А.И. Декоративная дендрология [Текст] / А.И. Колесников. – М., 1974. – 705 с.
4. Трувелер, К.А. Многоцелевой прибор для вертикального электрофореза в параллельных пластинах полиакриламидного геля [Текст] / К.А. Трувелер, Г.Н. Нефедов // Докл. высш. школы. Сер. «Биол. науки». – 1974. – № 9. – С. 137–140.
5. Шиманюк, А.П. Эколого-лесоводственная характеристика и физико-механические свойства древесины можжевельника обыкновенного [Текст] / А.П. Шиманюк, Л.М. Перельгин // Тр. Ин-та леса. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – Т. 3. – С. 319–327.
6. Шиманюк, А.П. Ход роста можжевельника обыкновенного [Текст] / А.П. Шиманюк, В.А. Жанет // Работы по лесоведению: тр. Ин-та леса. – 1958. – Т. 37. – С. 163–170.
7. Brewer, C.J. Introduction to isozyme techniques [Text] / C.J. Brewer. – N.Y.; London: Acad. Press., 1970. – 186 p.
8. Isozymes in Plant Genetics and Breeding. Pt. A [Text] / ed. S.D. Tanksley, T.J. Orton. – Amst.; Oxf.; N.Y., 1983. – 516 p.

Поступила 21.04.09

O.S. Barzut<sup>1</sup>, M.V. Surso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pomor State University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Institute of Ecological Problems of the North UB RAS

---

---

**Arborescent Juniper in the Russian European North**

The study results of rare arborescent form of common juniper in the European North of Russia are provided. The morphometric description of the plant is provided and the assumption is expressed on the nature of the given phenomenon.

Keywords: common juniper, arborescent form, biometric indices, increment, allozyme polymorphism.

---

---

УДК 630\*812

**А.И. Ревин, А.Н. Смольянов, Н.Б. Старостюк**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Ревин Алексей Иванович родился в 1959 г., окончил в 1985 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 50 печатных работ в области комплексной продуктивности насаждений.  
E-mail: lestaks53@mail.ru



Смольянов Анатолий Николаевич родился в 1950 г., окончил в 1974 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 120 печатных работ в области динамики и прогнозирования лесистости, кадастровой оценки древостоев и моделирования экосистем.  
E-mail: lestaks53@mail.ru



Старостюк Наталья Борисовна родилась в 1983 г., окончила в 2000 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, заместитель директора офиса коммерциализации инновационных проектов и разработок. Имеет 9 печатных работ в области охраны окружающей природной среды и особо охраняемых природных территорий.  
E-mail: natder83@mail.ru



### **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ КУЛЬТУР СОСНЫ РАЗЛИЧНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ В ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Проведены исследования и представлены статистические показатели физико-механических свойств древесины культур с различной густотой посадки. Выявлены наивысшие показатели качества.

*Ключевые слова:* плотность древесины, древесное сырье, густота посадки, вариационная статистика.

Важнейшим показателем качества древесины является плотность [6]. Она определяет массу, дает представление о механических свойствах древесины и влияет на качество многих продуктов, получаемых из нее, например целлюлозы, древесностружечных плит, продуктов биохимии. При увеличении плотности древесины повышается прочность, с уменьшением ее от 700 до 380 кг/м<sup>3</sup> усилие резания снижается примерно в 2 раза.

Целлюлозно-бумажная промышленность заинтересована в получении сырья в единицах массы, а не объема, так как потребление древесины на 1 т произведенной целлюлозы колеблется в пределах 3,5...5,8 м<sup>3</sup>, это зависит от изменения плотности от 350 до 560 кг/м<sup>3</sup>. Разница в потреблении древесины достигает 66 %. Учитывая огромные масштабы применения древесного сырья на современных предприятиях, можно утверждать, что различия в ее плотности всего в 1...2 % требуют внесения соответствующих корректив в организацию производства.

В современной практике наметилась явная тенденция к снижению плотности перерабатываемого сырья. А это влечет за собой увеличение расхода его на 1 т производимой продукции и полуфабрикатов (целлюлоза, древесная масса и др.), что отрицательно сказывается на производственных показателях предприятий, перерабатывающих древесину. Учитывая требования, которые современные предприятия лесной и целлюлозно-бумажной промышленности предъявляют к качеству древесного сырья, лесоводы должны стремиться к производству древесины повышенной плотности.

Значительная часть проводимых сейчас лесохозяйственных мероприятий направлена на повышение количественной продуктивности наших лесов путем ускорения их роста. Это относится к лесокультурной практике, тяготеющей к более редким посадкам деревьев, использованию удобрений и гидротехнических мелиораций. Установлено, что в результате применения этих способов ускорения роста насаждений плотность вновь формируемой древесины уменьшается на 5...15 %. Такое неблагоприятное изменение в свойствах древесины, хотя и перекрывается в значительной мере прибавкой урожая, необходимо учитывать при общей оценке проводимых лесохозяйственных мероприятий.

При решении вопроса о создании культур той или иной густоты необходимо установить их целевое назначение, которое во многом зависит от перспектив использования лесного сырья в будущем [5]. Разработка методов выращивания культур для этого – один из реальных путей повышения продуктивности лесов и интенсификации лесного хозяйства. Используя различные лесохозяйственные приемы, лесоводы могут ограничить действие факторов, отрицательно влияющих на плотность выращиваемой древесины.

Мы изучали плотность древесины культур сосны различной густоты посадки в воздушно-сухом и абс. сухом состоянии, предел прочности на сжатие и изгиб. Исследования проводились в опытных культурах сосны обыкновенной, заложенных в Семикинском лесничестве Перкинского лесхоза в 1956 г. кафедрой лесной таксации и лесоустройства под руководством проф. В.В. Успенского. Исследуемый участок расположен в квартале 128 (выдел 14) и представляет собой пропавшие культуры сосны 1947 г. Рельеф ровный, почва свежая супесчаная, в травянистом покрове осока, тип леса В<sub>2</sub>. В сентябре 1955 г. проводилась сплошная вспашка тракторным плугом на глубину 20...25 см. Посадка выполнена в апреле 1956 г. под меч Колесова однолетними сеянцами сосны, выращенными в питомнике лесничества. На исследуемом участке были заложены шесть вариантов культур с различной густотой посадки (табл. 1). Дополнения культур не было. Шестой вариант (размещение посадочных мест 1,5 × 0,8 м, густота посадки 8 тыс.шт./га, площадь 0,55 га) в настоящее время расстроен, сильно заселен березой и поэтому для исследований не использовался. В остальных пяти вариантах густоты согласно ОСТ 56-69-83 [4] были заложены пробные площади, таксационная характеристика которых приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика 26-летних культур сосны  
разной густоты посадки**

Показатель	Вариант				
	1	2	3	4	5
Размещение посадочных мест, м	1,5×0,7	1,0×1,0	1,0×0,7	0,7×0,7	0,5×0,5
Густота, тыс. шт./га:					
посадки	10,0	10,0	14,5	25,0	40,0
на момент обследования	4,48	4,99	6,64	7,38	7,69
Средняя высота, м	12,2	11,6	11,5	10,3	9,3
Средний диаметр, см	11,2	10,4	9,9	9,3	8,5
Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	41,5	42,0	48,1	47,1	41,7
Среднее видовое число	0,498	0,550	0,523	0,672	0,655
Запас, м <sup>3</sup>	257	260	289	326	254
Прирост, м <sup>3</sup> :					
средний	9,9	10,0	11,1	12,5	9,8
текущий	17,8	21,4	22,3	22,6	20,8
Масса, ц:					
сучьев:					
≤ 3 см	188,4	146,5	141,6	176,4	122,1
сухих	161,3	111,5	150,8	143,4	100,6
корней	386,2	435,0	376,7	426,6	396,2
хвойной лапки	465,4	435,3	430,3	540,5	442,1
Длина побегов первого года, км	133,8	142,1	156,4	161,0	138,5

Для каждого варианта густоты отдельные ступени толщины объединяли в классы с неодинаковым числом стволов и расчетным путем выбирали модельное дерево. Затем от средних моделей брали 2-метровые кряжи на образцы для выявления физико-механических свойств древесины согласно ГОСТ 21554.4–78 [1] и ГОСТ 21554.2–81 [2], кряжи разделявали на доски, а их, в свою очередь, распиливали на рейки размерами 20×20×2000 мм, нанося маркировку. Из реек изготавливали образцы размерами 20×20×30 и 20×20×300 мм, проводили их маркировку, где указывали густоту, номер пробы, порядковый номер рейки и номер образца.

Исследовали 333 опытных образца размерами 20×20×30 мм для определения плотности в воздушно-сухом и абс. сухом состоянии. В первом случае обмеряли ширину, длину и высоту для определения объема образцов, затем их взвешивали. Плотность древесины (кг/м<sup>3</sup>) определяли по формуле  $\rho = m/V$ , где  $m$  – масса образца, кг;  $V$  – его объем, м<sup>3</sup>. Во втором случае образцы высушивали в сушильном шкафу в течение 6 ч при температуре 104 °С, после чего также обмеряли и взвешивали, по той же формуле рассчитывали плотность. Полученные результаты заносили в журнал испытаний [3].

Таблица 2

Статистические показатели физико-механических свойств древесины						
№ варианта	<i>N</i>	$M \pm m_M$	$\sigma$	<i>C</i>	$P_M$	$t_M$
Плотность, кг/м <sup>3</sup>						
1	102	427,98 ± 2,40	24,20	5,65	0,56	178,33
		407,40 ± 2,26	22,80	5,60	0,55	180,27
2	52	445,00 ± 3,18	22,90	5,15	0,71	139,94
		426,00 ± 3,02	21,80	5,12	0,71	141,06
3	81	484,12 ± 4,73	42,56	8,79	0,98	102,35
		456,04 ± 4,46	40,16	8,81	0,98	102,25
4	53	433,26 ± 4,29	31,22	7,21	0,99	100,99
		411,44 ± 4,25	30,94	7,52	1,03	96,81
5	45	426,76 ± 3,47	23,28	5,46	0,81	122,99
		402,44 ± 3,29	22,08	5,49	0,82	122,32
Предел прочности при продольном сжатии, МПа						
1	89	135,22 ± 2,15	20,29	15,00	1,59	62,86
2	49	150,71 ± 1,60	14,14	7,43	1,06	94,23
3	74	166,80 ± 2,49	21,40	12,83	1,49	67,23
4	48	144,20 ± 2,90	20,05	13,90	2,01	49,78
5	51	142,26 ± 2,13	15,23	10,71	1,50	66,71
Предел прочности при статическом изгибе, МПа						
1	13	11,97 ± 0,57	2,04	17,05	4,72	21,17
2	6	12,61 ± 1,00	2,45	19,47	7,94	12,59
3	6	15,55 ± 0,96	2,35	15,09	6,16	16,22
4	7	12,88 ± 0,80	2,12	16,43	6,20	16,13
5	6	10,06 ± 1,02	2,50	24,85	10,14	9,86

Примечание. *N* – число испытаний, шт.;  $M \pm m_M$  – среднее арифметическое значение показателя и его ошибка;  $\sigma$  – основное среднее квадратичное отклонение; *C* – коэффициент изменчивости, %;  $P_M$  – показатель точности среднего арифметического значения показателя, %;  $t_M$  – достоверность среднего арифметического значения показателя. Стандартное значение критерия Стьюдента  $t_{st} = 2,6$ .

Для определения усилий на сжатие и изгиб использовали машину УММ-5. На сжатие испытано 311 образцов размерами 20×20×30 мм, на изгиб – 38 шт. размерами 20×20×300 мм.

Полученные результаты исследований обработаны методом вариационной статистики (табл. 2), построены вариационные ряды и вычислены их показатели при большой выборке.

Полученные средние значения достоверны ( $t_M > 3$ ), что соответствует вероятности 0,99, точность исследований высокая ( $P_M < 5 \dots 10$  %). Если принять за 100 % показатели варианта 3, то получим по вариантам 1, 2, 4 и 5: плотность в воздушно-сухом состоянии соответственно 88,40; 94,92; 89,49 и 88,15 %; в абс. сухом – 89,33; 93,49; 90,21 и 88,25 %; предел прочности на сжатие – 81,07; 90,36; 86,45 и 85,29 %; на изгиб – 76,98; 81,09; 82,83 и 64,71 %.

Таблица 3

## Показатели достоверности отношений признаков по вариантам культур

Показатель	Плотность древесины в состоянии		Предел прочности	
	воздушно-сухом	абс. сухом	на сжатие	на изгиб
$t_{10_1-10_2}$	4,28	5,21	5,78	0,56
$t_{10_1-14,5}$	10,59	9,73	9,60	3,22
$t_{10_1-25}$	1,07	0,84	2,49	0,93
$t_{10_1-40}$	0,29	1,24	2,32	1,64
$t_{10_2-14,5}$	6,86	5,56	5,44	2,12
$t_{10_2-25}$	2,20	2,79	1,97	0,21
$t_{10_2-40}$	3,87	5,28	3,17	1,78
$t_{14,5-25}$	7,97	7,24	5,92	2,14
$t_{14,5-40}$	9,77	9,68	7,49	3,92
$t_{25-40}$	4,28	1,68	0,54	2,18

Показатели достоверности отношений средних значений признаков между вариантами культур различной густоты приведены в табл. 3. Они достоверны при  $t_M > 3$ .

По результатам исследований можно сделать заключение, что наилучшими физико-механическими свойствами обладает древесина культур сосны с первоначальной густотой посадки 14,5 тыс. шт./га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21554.4–78. Пиломатериалы и заготовки. Метод определения предела прочности при продольном сжатии [Текст]. – Введ. 1980-01-01.
2. ГОСТ 21554.4–81. Пиломатериалы и заготовки. Метод определения предела прочности при статическом изгибе [Текст]. – Введ. 1982-01-01.
3. Исаева, Л.Н. Метод расчета локальной и средней плотности абсолютно-сухой древесины в стволах сосны и лиственницы [Текст] / Л.Н. Исаева // Лесоведение. – 1978. – № 4. – С. 90–94.
4. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 60 с.
5. Писаренко, А. И. Основные подходы к решению вопросов густоты посадки лесных культур [Текст] / А.И. Писаренко, М.Д. Мерзленко // Лесоведение. – 1979. – № 2. – С. 49–55.
6. Полубояринов, О.И. Плотность древесины [Текст] / О.И. Полубояринов. – Л.: ЛТА, 1973. – 76 с.

Поступила 10.06.08

---

*A.I. Revin, A.N. Smoljanov, N.B. Starostyuk*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

**Physical-mechanical Wood Properties of Pine Culture of Different Planting Density in Tambov Region**

Research is carried out and different statistical rating of physical-mechanical wood characteristics with different planting density is presented. The highest quality rating is revealed.

Keywords: wood density, wood raw material, planting density, variation statistics.

---

УДК 632.4:630\*416.3:582.287

**А. В. Дунаев**

Природный парк «Нежеголь» при Белгородском государственном университете

Дунаев Александр Владимирович родился в 1967 г., окончил в 1995 г. Харьковский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник природного парка «Нежеголь» при Белгородском государственном университете. Имеет 15 печатных работ в области лесной энтомологии и фитопатологии.  
E-mail: Sorokopudov@bsu.edu.ru



## **МАКРОМИЦЕТЫ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ДУБА В ЛЕСОСТЕПНЫХ ДУБРАВАХ**

Представлен список макромицетов, трофически связанных с корневой системой дуба черешчатого в дубравах Белгородской и Харьковской областей. Рассмотрены их экологические особенности.

*Ключевые слова:* макромицеты, консорция, ксилотрофы, симбиотрофы, микобиота.

В консорции дуба черешчатого выделяются организмы близких жизненных форм, связанные с той или иной частью этого растения-эдификатора. Важное значение в экологии дуба имеют сообщества грибных организмов – ксилотрофов (разрушителей древесины) и симбиотрофов (микоризообразователей). Эти экологические группы представлены макромицетами из класса *Basidiomycetes*.

В данной работе рассмотрены результаты изучения микобиоты, представленной макромицетами, приуроченными к корневой системе дуба черешчатого в лесостепных дубравах. Исследования проводили в 1997–2007 гг. в нагорных (и отчасти байрачных) дубравах Дергачевского и Волчанского районов Харьковской области и Белгородского района Белгородской области. Тип лесорастительных условий D<sub>2</sub>, преобладающий тип леса – снытевая дубрава, элемент леса – дуб черешчатый порослевого происхождения, возраст 70...100 лет, полнота 0,5...0,8, класс бонитета II–III.

Изучали видовой состав микобиоты, уточняли принадлежность видов к той или иной экологической группе; оценивали их встречаемость, обилие; выясняли сезонный аспект развития плодовых тел. Полевые исследования проводили рекогносцировочным и детальным методами [3].

Встречаемость вида оценивали по плодовым телам в соответствии с условной балльной шкалой: + – очень редко (единичный экземпляр); 1 – редко (в отдельных древостоях, не каждый год); 2 – не редко (во многих древостоях, практически ежегодно); 3 – часто (в большинстве исследуемых древостоев, ежегодно); 4 – очень часто (во всех древостоях, ежегодно).

Обилие вида (число особей на единице обитаемого пространства) оценивали по балльной шкале [2, 1]: + – очень редко, 1 – редко и рассеянно, 2 – не обильно, 3 – обильно, 4 – очень обильно. Отдельно учитывали харак-

тер распределения плодовых тел макромицетов по субстрату: 1 – единично, 2 – редкими небольшими группами, 3 – скученно большими группами. Сезон развития видов выясняли на основании данных о приуроченности их плодоношения к определенному времени года.

Полученные данные сведены в таблицу, из которой следует, что с корневой системой дуба черешчатого в дубравах южной лесостепи связаны семь видов базидиомицетов с хорошо выраженными плодовыми телами. Три из них – печеночница обыкновенная (*Fistulina hepatica*), трутовик дубравный (*Inonotus dryadeus*), грифола курчавая (*Grifola frondoza*) – принадлежат к афиллофоровым (*Aphylophorales*), четыре – опенок осенний (*Armillaria mellea*), поддубник (*Boletus luridus*), полубелый (*B. impolitus*), подосиновик красный (*Leccinum aurantiacum*) – к агариковым (*Agaricales*) грибам.

Печеночница обыкновенная, трутовик дубравный, грифола курчавая – ксилотрофные виды, специализированные в местных условиях паразиты дуба; вызывают корневую гниль, развиваясь преимущественно у основания живых деревьев. Печеночница, кроме того, проявляет и сапрофитическую активность (свежие плодовые тела встречаются на усохших деревьях дуба и пнях). Печеночница и трутовик дубравный поражают также и комлевую часть деревьев. Еще один ксилотрофный вид – опенок осенний – эврибионт, способен поражать практически все деревья; поселяется как на мертвых, так и на ослабленных экземплярах; на живых, сильно ослабленных деревьях дуба, благодаря развитию ризоморф, легко колонизирует корневую, комлевую и стволовую части, вызывая отмирание живых тканей и последующее разрушение древесины. Следует отметить, что печеночница обыкновенная и опенок осенний – обычные спутники дуба в неблагополучных древостоях с высокой долей сухокронных, нежизнеспособных и ограниченно жизнеспособных деревьев.

Поддубник, полубелый, подосиновик – микоризообразователи. Первые два образуют микоризу с дубом, третий – с дубом и осиной (встречается и на участках без примеси последней). Это симбиотрофные спутники дуба в относительно благополучных древостоях с преобладанием полнокронных жизнеспособных деревьев.

Наиболее часто и обильно плодоносит опенок осенний, достаточно часто встречается печеночница. Очень редки трутовик дубравный и грифола курчавая: за весь период наблюдений мы обнаружили только по одному экземпляру плодовых тел этих видов (у основания живых деревьев дуба). Достаточно редко встречаются плодовые тела микоризообразователей: поддубника, полубелого и подосиновика.

В зависимости от года, погодных условий, состояния древостоя, микроклимата, качества субстрата и других факторов опенок осенний образует единичные плодовые тела, их небольшие или многочисленные скученные группы. У печеночницы, трутовика дубравного, грифола плодовые тела единичные, но довольно крупные. Поддубник обычно также встречается в единичных экземплярах, полубелый и подосиновик как единично, так и небольшими группами из рядом растущих плодовых тел.

Опенок осенний, полубелый – осенние виды; трутовик дубравный, грифола, поддубник – летние; печеночница, подосиновик – летне-осенние.

Таким образом, с корневой системой дуба черешчатого в дубравах южной лесостепи ассоциировано семь видов макромицетов, четыре из которых (опенок осенний, печеночница обыкновенная, трутовик дубравный, грифола курчавая) обладают выраженной паразитической активностью и вызывают корневую гниль, остальные три (поддубник, полубелый, подосиновик красный) являются микоризообразователями. Наиболее часто встречаются два вида ксилотрофных патогенов (опенок осенний, печеночница обыкновенная), причем оба они способны поражать и комлевую часть дуба.

Все виды по сезонам развития подразделяются на летние (трутовик дубравный, грифола курчавая, поддубник), осенние (опенок осенний, полубелый) или летне-осенние (печеночница обыкновенная, подосиновик красный).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордиенко, П.В. Биотопическое распределение настоящего трутовика в хвойно-широколиственных лесах Сихоте-Алиня [Текст] / П.В. Гордиенко // Лесоведение. – 1977. – № 6. – С. 86–91.

2. Дажо, Р. Основы экологии [Текст] / Р. Дажо. – М.: Прогресс, 1975. – 415 с.

3. Шевченко, С.В. Лесная фитопатология [Текст] / С.В. Шевченко, А.В. Цилюрик. – Киев: Вища шк., 1986. – 384 с.

Поступила 09.04.08

*A.V. Dunaev*

Natural Park «Nezhegol» under Belgorod State University

#### **Macromycetes of Oak Root System in Forest Steppe Oak Forests**

A list of macromycetes trophically connected with the root system of English oak in the oak forests of Belgorod and Kharkov regions is provided. Their environmental peculiarities are analyzed.

Key words: macromycetes, consortium, xylotrophs, symbiotrophs, mycobiota.

---

### Макромицеты корневой системы дуба

Вид	Экологическая группа	Местонахождение плодовых тел	Встречаемость, балл	Обилие, балл	Распределение плодовых тел по субстрату, балл	Сезон развития
<i>Armillaria mellea</i> (Fr. ex Vahl.) Karst.	Паразит-сапрофит, ксилотроф	У подножия и на корневых лапах живых и мертвых деревьев, на пнях	4	2-4*	1-3	Сентябрь – октябрь
<i>Fistulina hepatica</i> (Schaeff.) Fr.	То же	У основания живых деревьев, на пнях	3	1	1	Июль – сентябрь
<i>Inonotus dryadeus</i> (Pers. et Fr.) Murr.	Паразит, ксилотроф	У основания живых деревьев	+	+	1	Июль
<i>Grifola frondoza</i> (Fr.) S.F. Gray	То же	То же	+	+	1	«
<i>Boletus luridus</i> Fr.	Микоризообразователь	На почве, рядом со стоящими живыми деревьями	1	1	1	Июнь – июль
<i>Boletus impolitus</i> Fr.	«	То же	1	1-2	1-2	Сентябрь
<i>Leccinum aurantiacum</i> (Fr.) S.F. Gray	«	« «	1	1-2	1-2	Июнь – сентябрь

\*В зависимости от года, погодных условий, древостоя, микроклимата, субстрата и пр.

УДК 630\*18:582.475.2:676

*Е.А. Робакидзе, Н.В. Торлопова, К.С. Бобкова*

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Робакидзе Елена Александровна родилась в 1966 г., окончила в 1988 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 50 печатных работ в области сезонной динамики роста хвои ели, углеводного обмена хвойных, влияния аэротехногенного загрязнения целлюлозно-бумажного производства на хвойные фитоценозы.  
E-mail: robakidze@ib.komisc.ru



Торлопова Надежда Валерьяновна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Сыктывкарский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела лесобиологических проблем Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет около 60 научных работ в области изучения морфоструктуры хвойных фитоценозов после техногенного воздействия разных типов.  
Тел.: (8212) 24-50-03



### **СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЕЛОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА\***

При сравнительном анализе состояния ели, сосны и березы еловых фитоценозов в условиях загрязнения воздушными выбросами ЦБП установлено, что в зоне действия комбината количество здоровых деревьев в среднем на 20 % меньше, чем в фоновом районе, а по состоянию хвои и кроны более уязвимы береза и ель.

*Ключевые слова:* мониторинг, еловые древостои, жизненное состояние, дефолиация, дехромация, классы повреждения, индексы поврежденности.

ОАО «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» (ОАО «Монди СЛПК») – крупнейшее предприятие целлюлозно-бумажного производства в европейской части России, является источником разнообразных промышленных выбросов в воздушный бассейн. К основным поллютантам относятся оксиды углерода, серы, азота, сероводород, сероорганические соединения, минеральная пыль (табл. 1) [5, 17].

В настоящее время существует несколько подходов к оценке состояния лесов, находящихся в условиях аэротехногенного воздействия. Широкое распространение получил разработанный IUFRO метод мониторинга лесов на региональном и локальном уровнях в процессе выполнения программы ICP-Forests [20]. Для оценки состояния окружающей среды, в частности лесных экосистем, лучших индикаторов, чем сами древесные растения, не существует [19]. Опубликовано значительное количество работ, содержащих

---

\* По программе фундаментальных исследований президиума РАН «Биоразнообразии и генетика генофондов».

Таблица 1

**Выбросы (т) загрязняющих веществ в атмосферу  
на предприятии ОАО «Монди СЛПК»**

Выбросы	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Всего	24 204,5	24 173,3	19 505,4
В том числе:			
твердые вещества	3 084,2	3 449,7	2 096,2
меркаптаны	86,7	87,2	44,1
сероводород	141,5	246,4	51,1
диоксид серы	849,3	684,4	586,4
диоксид азота	2 695,4	2 896,0	2 819,7
оксид углерода	17 295,7	16 774,2	13 815,2

перечень древесных и кустарничковых растений, ранжированных по степени устойчивости к приоритетным загрязняющим веществам [4, 6, 7, 14, 18]. Отмечается высокая чувствительность сосны обыкновенной по сравнению с другими видами древесных растений практически во всех исследуемых регионах. Устойчивость одних лесообразующих пород относительно других ко многим факторам среды определяется довольно широким спектром их биологических и экологических свойств и имеет зональную специфику. По устойчивости к аэротехногенному воздействию лесообразующие породы можно расположить (в сторону ослабления устойчивости) в следующий ряд: в регионе Среднего Урала – береза, лиственница, ель, сосна; в регионе севера Средней Сибири – ель, береза, лиственница [11]. При изучении динамики состояния древостоев в 1992 – 2000 гг. в буферной зоне нефтепромышленного комплекса в соответствии с технологией ICP-Forests наиболее высокие показатели дефолиации среди древесных пород выявлены у ели, затем следуют осина, береза и сосна [13]. При равной дефолиации большие потери несут те деревья, листовая аппарат которых имеет больший возраст. Наиболее поврежденной оказалась ель, затем осина, сосна и береза. Подобные исследования для зоны выбросов целлюлозно-бумажного производства не проводились.

Цель данной работы – сравнить состояние древесных растений еловых фитоценозов в условиях загрязнения воздушными выбросами целлюлозно-бумажного производства ОАО «Монди СЛПК».

Для оценки действия выбросов целлюлозно-бумажного комбината на леса нами в ельниках черничных заложены постоянные пробные площади (ППП), находящиеся к северо-востоку от источника эмиссии загрязняющих веществ на расстоянии до 50 км в направлении доминирующей составляющей региональной розы ветров (табл. 2). Согласно [3, 9], ППП 37 располагается в зоне наибольшего влияния ОАО «Монди СЛПК», ППП 33 и 35 – значительного влияния, ППП 36 – умеренного. В качестве опорных и фоновых выбраны еловые насаждения (ППП 4 и 38), произрастающие в 50 км от источника загрязнения на территории Ляльского лесоэкологического стационара. Подбор и закладку экспериментальных участков, а также обработку полученных материалов проводили с использованием [10, 15].



Ельники черничные произрастают на типичных подзолистых суглинистых почвах. Древостои спелые, невысокой продуктивности, разновысотные, но ярусность не выражена. Древесный ярус образует в основном ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). В составе древостоев часто присутствуют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и береза повислая (*Betula pendula* Roth), реже – осина (*Populus tremula* L.) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.).

Определение жизненного состояния деревьев ели в древостоях проводили согласно [20]. Число учтенных экземпляров на пробных площадях варьирует от 114 до 287 шт., ель составляет 50...90 % от общего количества. Внешний вид дерева определяется совокупностью признаков, каждый из которых может быть достаточен для оценки поврежденности, однако наиболее информативны показатели состояния ассимиляционного аппарата. С помощью бинокля БПЦ 2 (12 × 45М) с расстояния, равного высоте дерева, у всех живых деревьев на ППП в баллах (от 0 до 3) оценивали степень дехромации (изменение цвета) хвои и дефолиации (потеря хвои) кроны. По степени дефолиации и дехромации хвои деревья распределяли на пять классов, используя следующую шкалу: 0 – < 10 %; 1 – 11...25 %; 2 – 26...60 %; 3 – 61...99 %; 4 – 100 %. Кроме этого, учитывали количество сухих сучьев в кроне дерева (0 – < 10 %; 1 – 11...25 %; 2 – 26...50 %; 3 – 51...99 %) и состояние вершины дерева (0 – живая; 1 – поврежденная; 2 – усыхающая; 3 – сухая). Оценив каждое дерево по комплексу вышеуказанных параметров, относили его к определенному классу повреждения:

0 класс – здоровое дерево, не имеет внешних признаков повреждения кроны и ствола, любые повреждения хвои (составляют < 10 % по отношению ко всей массе ассимиляционного аппарата) не отражаются на его состоянии;

1 класс – слабо поврежденное дерево (повреждения по одному или сумме всех признаков составляют 11...25 %);

2 класс – средне поврежденное дерево (26...60 % повреждений);

3 класс – сильно поврежденное (отмирающее) дерево (61...99 % повреждений);

4 класс – отмершее дерево (100 % повреждений).

Жизненное состояние древостоев оценивали с помощью индекса средневзвешенного класса повреждения составляющих древостой деревьев [1]:

$$I = \sum_{i=0}^4 i \cdot w_i / W,$$

где  $I$  – индекс жизненного состояния древостоя, балл;

$i$  – индекс поврежденности деревьев, балл;

$w$  – статистический вес деревьев  $i$ -го класса повреждения;

$W$  – сумма статистических весов.

По величине индекса состояния древостои классифицировали на здоровые (индекс 0...0,5), ослабленные (0,6...1,5), сильно ослабленные (1,6...2,5), отмирающие (2,6...3,5) и сухостой (> 3,6).

Состояние древесных пород оценивали по таким показателям, как дефолиация и дехромация. Первый из них является более отдаленным во времени итогом многолетнего влияния неблагоприятных факторов. Оценка устойчивости растений по степени дефолиации хвои достаточно объективна. Она характеризует состояние древостоя в текущем вегетационном периоде и может быть использована для оперативного экологического контроля структуры за более короткий период времени [2, 8, 12].

Анализ *дефолиации кроны* деревьев на фоновых участках выявил, что насаждения состоят в основном из деревьев ели и сосны 0-го класса: соответственно в среднем 77 и 88 % от общего количества (рис. 1). Здоровых елей по данному показателю на 11 % меньше, чем сосен. Количество елей 1-го класса повреждения почти в 2 раза больше, елей и сосен 2-го класса повреждения примерно одинаково – 3...4 %. Деревья с потерей хвои от 61 до 100 % практически отсутствуют. В еловых фитоценозах на загрязненной техногенными выбросами территории здоровых по признаку дефолиации деревьев ели и сосны в среднем соответственно на 30 и 40 % меньше, чем в насаждениях фоновых участков. В загрязненных фитоценозах основную часть древостоя представляют деревья 1-го класса повреждения: елей и сосен соответственно 53 и 55 %. К среднеповрежденным относятся 16 % елей и 5 % сосен. Увеличение дефолиации кроны хвойных деревьев на опытных участках объясняется прежде всего снижением продолжительности жизни хвои. Так, если на фоновой территории средний возраст хвои сосны составляет в среднем 6 лет, а в зоне действия выбросов – 5 лет, то для хвои ели – соответственно в среднем 11 и 9 лет. Следовательно, по показателю дефолиации сосна менее чувствительна, чем ель.

Обследование жизненного состояния ели и сосны по степени *дехромации хвои* показало, что на пробных площадях фонового района преобладают здоровые деревья, составляющие в среднем 93 и 88 % от общего количества (рис. 1). Сравнительно немного деревьев, имеющих 10...25 % пожелтевшей хвои в кроне (1 класс повреждения): 8 % елей и 12 % сосен. Единично присутствуют сосны 2-го класса повреждения (25...60 % пожелтевшей хвои). Деревья 3-го и 4-го классов повреждения по данному показателю отсутствуют. На участках, расположенных в зоне действия ОАО «Монди СЛПК», здоровых деревьев ели и сосны несколько меньше: в среднем 79 и 76 % от общего количества. На деревья 1-го класса повреждения приходится около 22 %. Выявлено всего 1 % елей 2-го класса повреждения по данному показателю. Деревья 3 и 4-го классов, как и на фоновой территории, отсутствуют. Следует отметить, что по показателю дехромации реакция на загрязнение у ели и сосны примерно одинаковая.

Распределение деревьев по *количеству сухих ветвей* показало, что в ельниках черничных, произрастающих на фоновой территории, основу насаждений составляют деревья 0-го класса (сухих ветвей в кроне < 10 %): в среднем 73 % елей и 87 % сосен (рис. 2). На долю ели и сосны 1-го класса повреждения (10...25 % сухих ветвей) приходится соответственно 21 и 9 % от общего количества. Деревья ели и сосны 2-го класса повреждения

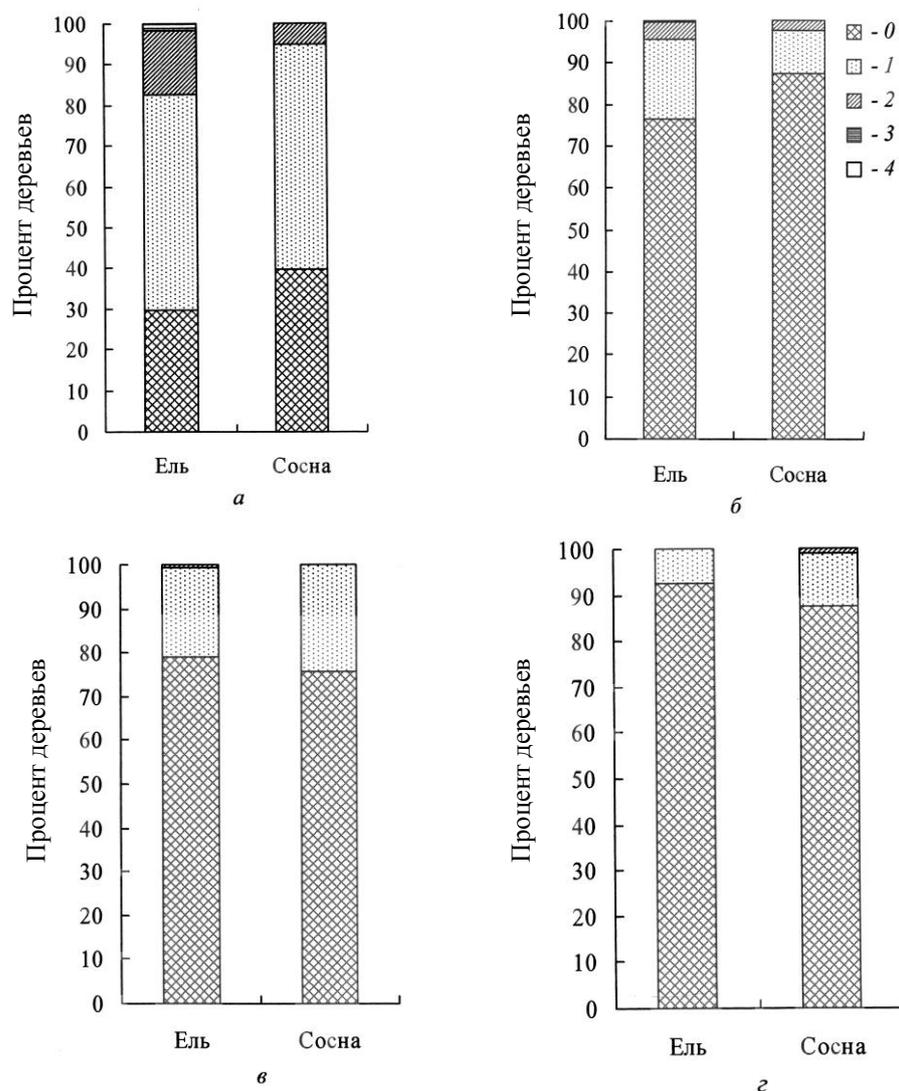
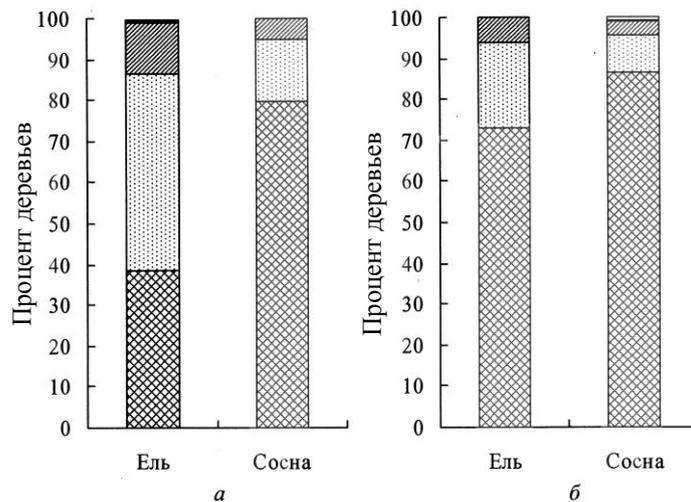


Рис. 1. Средневзвешенный класс дефолиации крон (а, б) и дехромации хвои (в, г) деревьев в ельниках на загрязненной (а, в) и фоновой (б, г) территориях (0, 1, 2, 3, 4 – классы повреждения деревьев)

(25...60 % сухих ветвей) составляют 6 и 4 % соответственно. На территории, подверженной влиянию поллютантов, здоровых деревьев ели по количеству сухих ветвей значительно (на 39 %) меньше, чем в насаждениях фонового района. При этом на долю сосны с поврежденными ветвями приходится 80 %. Значительную часть деревьев древостоев опытных участков составляют ели 1-го класса повреждения. К среднеповрежденным относятся 13 % елей и 5 % сосен от общего количества. По такому показателю, как наличие сухих ветвей в кроне, более чувствительной является ель.

Рис. 2. Распределение деревьев по классам повреждения в зависимости от количества сухих ветвей в кроне в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (см. обозначения на рис. 1)



Обследование всех живых деревьев на *суховеершинность* выявило, что ели и сосны с живой верхушечной почкой являются основой контрольных древостоев: в среднем 91 и 93 % от общего количества соответственно (рис. 3). Деревья ели с усыхающей и поврежденной вершиной составляют 8 %, сосны – 7 %. В ельниках черничных, растущих в зоне действия выбросов ОАО «Монди СЛПК», количество деревьев ели с неповрежденной вершиной несколько меньше, чем в фоновом районе: 83 %. Число здоровых сосен в фоновом районе и в зоне действия комбината практически одинаковое. Отсутствуют сосны с усыхающей и поврежденной вершиной.

Анализ распределения деревьев по классам повреждения показал, что насаждения на контрольных участках состоят в основном из здоровых деревьев ели и сосны (рис. 4). При этом здоровых елей в среднем на 20 % меньше, чем сосен. Количество елей 1- и 2-го классов повреждения больше, чем сосен. Доля отмирающих и отмерших деревьев ели и сосны примерно одинакова.

Рис. 3. Распределение деревьев по классам повреждения в зависимости от состояния вершины в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (0 – здоровая, 1 – сломанная, 2 – усыхающая, 3 – поврежденная вершина)

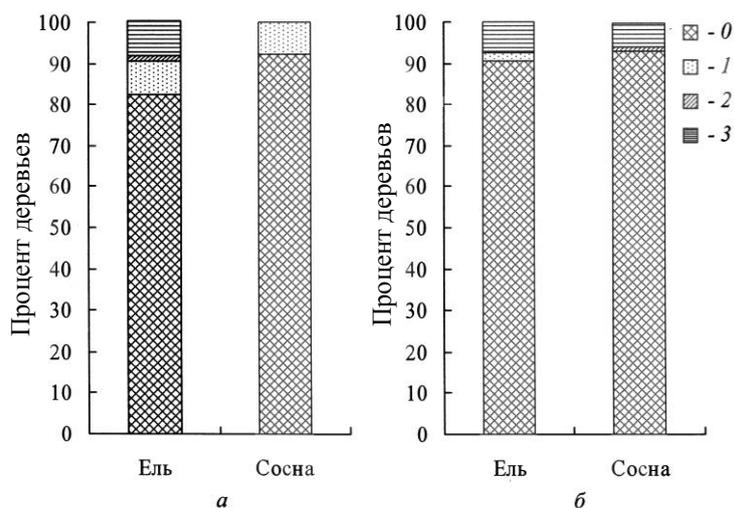
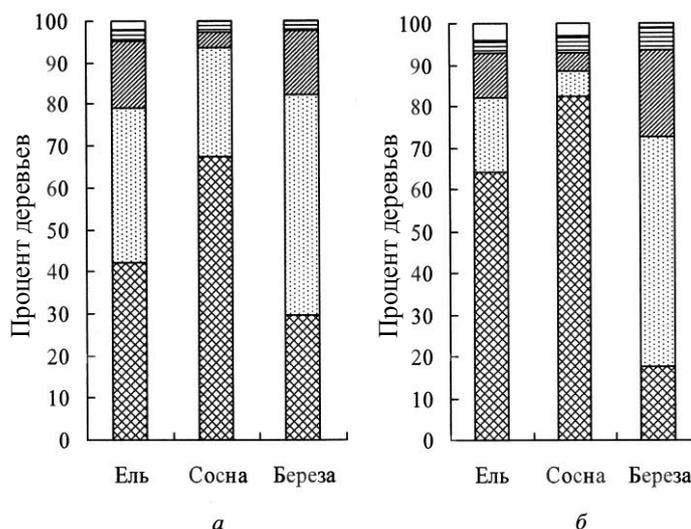


Рис. 4. Распределение деревьев по классам повреждения в ельниках на загрязненной (а) и фоновой (б) территориях (см. обозначения на рис. 1)



Количество здоровых берез в среднем 18 %. Основная часть берез приходится на деревья 1- и 2-го классов повреждения и составляет соответственно 55 и 21 % от общего количества. На загрязненной территории здоровых деревьев ели и сосны меньше, чем в насаждениях фоновой территории: в среднем 42 и 67 % соответственно. На долю берез 0-го класса приходится 30 % от их общего количества. К слабо поврежденным могут быть отнесены 37 % елей, 26 % сосен и 53 % берез от их общего количества. Средне и сильно поврежденных сосен всего 4 и 3 % соответственно. На долю 2-го класса повреждения как елей, так и берез приходится в среднем 16 %. Следует отметить, что во всех исследуемых древостоях на фоновой и загрязненной территориях меньше всего повреждается сосна, более уязвимыми являются береза и ель. Это объясняется разной чувствительностью их к эмиссии вредных веществ (см. табл. 1). Известно, что в спелом возрасте адаптивный потенциал сосны и ели к условиям атмосферного загрязнения определяется как природой загрязнителей, так и условиями произрастания [16, 18].

В табл. 1 представлены рассчитанные на основе распределения деревьев по состоянию интегральные классы повреждения еловых древостоев. По индексу поврежденности древостои исследуемых насаждений характеризуются как ослабленные:  $i_{cp} = 0,87$ . Только древостой на ППП 38, расположенный в фоновом районе, характеризуется как здоровый.

Таким образом, в зоне аэротехногенного загрязнения выбросами целлюлозно-бумажного производства происходит повреждение деревьев, составляющих древостои. В этой зоне процент здоровых деревьев в среднем на 20 меньше, чем в фоновом районе. Используемые нами индикаторные показатели, характеризующие влияние выбросов комбината на состояние древесных растений, показали, что ель и береза более подвержены аэротехногенному загрязнению целлюлозно-бумажного производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.С.* Мониторинг лесных экосистем [Текст] / А.С. Алексеев. – СПб.: ЛТА, 1997. – 116 с.
2. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем [Текст]. – М.: Мир, 1988. – 348 с.
3. *Бобкова, К.С.* Состояние лесов в зоне влияния Сыктывкарского лесопромышленного комплекса [Текст] / К.С. Бобкова, Ю.А. Паутов, Н.А. Терещук // Лесн. журн. – 1997. – № 5. – С.84–88. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Влияние загрязнений воздуха на растительность [Текст]. – М.: Лесн. пром-ть, 1981. – 184 с.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2006 году» [Текст]. – Сыктывкар, 2007.
6. *Илькун, Г.М.* Газоустойчивость растений [Текст] / Г.М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1971. – 146 с.
7. *Илькун, Г.М.* Загрязнение атмосферы и растения [Текст] / Г.М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1978. – 249 с.
8. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение [Текст] / В.А. Алексеев [и др.]. – Л.: Наука, 1990. – С. 38–53.
9. Лесные экосистемы в зоне действия крупных лесопромышленных производств // Освоение Севера и проблемы рекультивации [Текст]. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1996. – С.16–18.
10. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР) [Текст] / сост. Г.С. Войнов. – Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. – 558 с.
11. *Меншиков, С.Л.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения и пути снижения наносимого ущерба [Текст]: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук / С.Л. Меншиков. – Екатеринбург, 2004. – 43 с.
12. Методические указания по оценке жизненного состояния сосны, ели и березы [Текст]. – Каунас, 1987. – 32 с.
13. *Моложавский, А.А.* Динамика состояния древостоев в 1992–2000 гг. в буферной зоне нефтепромышленного комплекса [Текст] / А.А. Моложавский. – Режим доступа: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2001/les\\_2001/molojavsky.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2001/les_2001/molojavsky.htm).
14. *Рожков, А.А.* Устойчивость лесов. [Текст] / А.А. Рожков, В.Т. Козак. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
15. *Третьяков, Н.В.* Лесная таксация [Текст] / Н.В. Третьяков. – Л., 1957. – 300 с.
16. *Цветков, В.Ф.* Лес в условиях аэротехногенного загрязнения [Текст] / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.
17. Экологический отчет 2006 ОАО «Mondi business paper Сыктывкарский ЛПК» [Текст]. – Сыктывкар, 2006.
18. *Ярмишко, В.Т.* Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере [Текст] / В.Т. Ярмишко. – СПб., 1997. – 210 с.
19. *Kenneweg, H.* Monitoring forest damage. Influences of forest damage on forestry and timbertrade 3. Berichte des Forschungszentr. Waldokosysteme / Waldserben. Conference: LIGNA (15 May 1985, Hannover) [Text] : Proc. / H. Kenneweg. – 1985. – P. 38–63.

20. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest [Text]. – Hamburg, Prague, 1994. – 177 p.

Поступила 05.12.08

*E.A. Robakidse, N.V. Torloпова, K.S. Bobkova*

Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of Russian Academy of Sciences

**Wooden Plants State of Spruce Phytocenoses in Zone of Aerotechnogenic Effect of Pulp-and-paper Production**

It is established under the comparative analysis of spruce, pine and birch state of spruce phytocenoses in the conditions of PPM emissions' pollution that a number of healthy trees is on average 20% less in the mill operation zone than in the background zone, whereas birch and spruce are more vulnerable as far as needles and crown are concerned.

Keywords: monitoring, spruce stands, vital state, defoliation, dechromation, classes of damage, indices of damage.

---

Таблица 2

## Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев еловых лесов

Номер ППП	Расстояние от ОАО «Монди СЛПК», км	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Число деревьев, шт./га	Общий запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бони- тета	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Индекс поврежден- ности
				высота, м	диаметр, см					
Зона действия выбросов ОАО «Монди СЛПК»										
37	3,5	6Е2Б2С	97...187	15,0	15,0	1838	320	V	22,4	0,72
33	4,3	9Е1Б+Пх	105...235	15,5	19,0	1666	303	V	36,7	0,97
35	5,3	6Е2Б2С	85...155	14,1	15,0	1933	289	V	21,0	0,70
36	10,0	6Е2С1Б1Ос	77...127	15,2	16,0	1733	365	IV	24,7	1,10
Фоновый район										
4	50,0	3Е3С3Ос1Б	77...97	16,3	16,5	1196	372	IV	12,0	0,80
38	50,0	7Е3Б+С,Пх	95...175	18,3	22,0	891	311	IV	22,0	0,49

Примечание. Тип леса – черничный.

УДК 630\*181

**Г.А. Одноралов, Е.Н. Тихонова**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Одноралов Геннадий Алексеевич родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Воронежский государственный университет, кандидат наук, доцент кафедры лесомелиорации, почвоведения и озеленения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 100 научных работ.  
E-mail: lesomel@ya.ru



Тихонова Елена Николаевна родилась в 1972 г., окончила в 1996 г. Воронежский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесомелиорации, почвоведения и озеленения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 30 печатных работ.  
E-mail: lesomel@ya.ru



### **ПОЧВЕННО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОДОНЬЯ**

Рассмотрены связи между особенностями формирования сосновых насаждений, почвенно-литологическим и минеральным составом песчаных отложений Центрального Подонья.

*Ключевые слова:* песчаные местообитания, экологические условия, тип водного режима, минералогический состав, формирование насаждений.

Возникновение в Центральной лесостепи сосновых насаждений связано с мощным накоплением вдоль левобережья Дона и рек, входящих в его бассейн, древнеаллювиальных и флювиогляциальных песчаных отложений.

Песчаные надпойменные боры, в отличие от зональных для края дубрав, считаются экстразональным, внепоясным типом растительности [2] и пришли к нам из района Восточных Карпат после таяния днепровского ледника. Следовательно, они являются гораздо более древними, чем северные боры, образованиями.

Бесплодные песчаные местообитания непригодны для успешного роста других пород деревьев и сельскохозяйственных культур, а сосна на них образует разносторонне ценные, нередко высокопродуктивные леса. С момента заселения надпойменно-террасовых типов местности сосной обыкновенной экологические условия ее существования заметно изменились, а следовательно, происходил закономерный процесс эволюции ландшафтов.

В настоящее время оптимальными для сосны обыкновенной являются условия центральной подзоны европейской тайги с умеренно-холодным климатом, большим (до 700 мм/год) количеством осадков и промывным типом водного режима (коэффициент увлажнения  $KУ = 1,1 \dots 1,3$ ). В лесостепи

количество осадков сокращается до 500...520 мм/год, КУ едва доходит до 1,0, сплошная промывка почвенного профиля до уровня грунтовых вод в элювиальных ландшафтах происходит не чаще 1 раза в 10 лет.

Чтобы убедиться в значении почвенно-литологических факторов в продуктивности лесных экосистем, нами были исследованы почвы лесных массивов Дон-Воронежского водораздела от г. Задонска до впадения р. Воронеж в р. Дон, левобережных надпойменных террас вдоль Воронежского водохранилища и сосновых насаждений Хреновского бора.

Осадочная толща, слагающая рельеф данных территорий, представлена комплексом неоген-четвертичных песчано-глинистых континентальных отложений. Строение верхней части водораздела неоднородно: серые кварцевые пески, местами глинистые, местами с прослоями глин, опускаются на глубину 10...15 м и более; бурые, изредка лессовидные суглинки подстилаются на глубине 1,0...1,5 м песками, иногда с прослойками глин. Такой состав пород сказывается на составе леса: к злаковым и злаково-орляковым дубравам присоединяются субори и чистые сосновые посадки.

Первая и вторая левобережные надпойменные террасы сложены более однородными песчаными аллювиальными отложениями калининской ледниковой эпохи. Вторая терраса иногда усложнена прослоями суглинков и глин пойменного типа. Минеральный состав песчаных отложений в Задонском, Животиновском и Правобережном лесничествах изучался в очагах поражения корневой губкой, в Левобережном лесничестве и Хреновском бору – в здоровых сосновых насаждениях.

Главным почвообразующим минералом легкой фракции (см. таблицу) является кварц. Его содержание составляет 95...100 %. Зерна кварца слабо- и среднеокатанные, прозрачные, иногда имеют изъеденную поверхность и примазки глинисто-кварцевого тонко перетертого материала. Встречаются также обломки углистого вещества. Полевые шпаты в незначительном количестве представлены ортоклазами и единичными зернами микроклина, интенсивно выветренными до глин.

Результаты исследования показывают, что в тяжелой фракции преобладают минералы, устойчивые к физико-химическому выветриванию. К непрозрачным относится ильменит, содержание которого колеблется от 10,0 до 34,6 %, к прозрачным – ставролит-дисфено-рутиловые ассоциации с турмалином, силлиманитом и гранатом. Среди неустойчивых к выветриванию минералов в незначительных количествах присутствуют амфиболы (от единичных зерен (ед.з.) до 2,0 %) и эпидот (до 3,2 %).

Из данных таблицы видно, что минералогический состав как почвенных горизонтов, так и почвообразующих пород идентичен. Минералы тяжелой фракции присутствуют в незначительных количествах, коэффициент минерального богатства колеблется от 0,18 до 0,39 % (или 1,8...3,9 кг/т.) Такое содержание тяжелой фракции свидетельствует о растворяющем действии органических кислот, образующихся при минерализации лесной подстилки, и агрессивных выделений корневых систем. Кроме того, данные А.В. Веретенникова [3] свидетельствуют о прямом отрицательном влиянии

на производительность насаждений сосны частичного анаэробного дыхания, проявляющегося в усилении гликолиза и образовании ряда продуктов, вредных для корней сосны. Если в условиях тайги, при промывном типе водного режима, происходит постоянное освобождение почв от этих веществ, то в лесостепи, при отсутствии ежегодной промывки, они накапливаются в почве на глубине промачивания атмосферными осадками, и через 40...50 лет создается их критическая масса. К этому времени в лесных культурах основная масса корней сосны достигает этого слоя, и происходит самоотравление насаждений или притупление их роста.

Во многом способствуют этому процессу суглинистые прослойки, часто встречающиеся в толще песков. Они являются геохимическими барьерами, на которых концентрируются данные вещества. Кроме того, они создают глееватые горизонты, уплотнены, слабо аэрированы, имеют резко колеблющийся окислительно-восстановительный потенциал и являются препятствием для проникновения стержневых корней древесных пород.

Отрицательное влияние смены гранулометрического состава почв на сосновые насаждения нами достоверно доказано в прежних исследованиях [4], поэтому напрашивается вывод о нецелесообразности создания чистых сосновых культур на водораздельных пространствах, сложенных в верхней части песчаными наносами с суглинистыми прослойками и глубоким уровнем залегания грунтовых вод. Такие насаждения долговечными быть не могут. В них происходит закономерная естественная перестройка элювиальных ландшафтов с заменой сосны обыкновенной лиственными насаждениями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арефьев, Ю.Ф.* Генетический аспект защиты насаждений сосны от корневой губки [Текст]/Ю.Ф. Арефьев, А.К. Артюховский //Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: тез. докл. – Воронеж, 1993. – С. 53–55.
2. *Вересин, М.М.* Леса воронежские [Текст] / М.М. Вересин. – Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1971. – С.40–68.
3. *Веретенников, А.В.* Метаболизм древесных растений в условиях корневой апопсии [Текст] / А.В. Веретенников. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1985. – 90 с.
4. *Одноралов, Г.А.* Почвенно-литологические аспекты продуктивности сосновых насаждений Учебно-опытного лесхоза ВГЛТА [Текст] / Г.А. Одноралов, Э.В. Манакова, Е.Н. Тихонова // Восстановление лесов, ресурсов и энергосберегающие технологии лесного комплекса: сб. науч. тр. – Воронеж, 2000. – С. 218–224.

Поступила 10.06.08

*G.A. Odnorlov, E.N. Tikhonova*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

#### **Soil-lithologic Factors of Pine Plantations Productivity of Central Don Region**

The relations between pine plantation productivity, soil-lithological and mineral composition of sandy sediments of the Central Don region are considered.

Keywords: sandy habitat, environmental conditions, water mode type, mineral resources coefficient, loam layers, self-poisoning, landscape evolution.

---

УДК 630\*164.5:674.031.632.134.3

**И.Б. Амосова, П.А. Феклистов**

Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Архангельский государственный технический университет

Амосова Ирина Борисовна родилась в 1983 г., окончила в 2001 г. Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова, аспирант кафедры ботаники и общей экологии ПГУ. Имеет 6 научных работ в области биологии и лесной экологии.  
E-mail: fc.botanic@pomorsu.ru



Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РАЕН. Имеет около 190 печатных работ в области лесоведения и экологии.  
E-mail: feclistov@agtu.ru



### **АСИММЕТРИЯ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ У ОСОБЕЙ РАЗНОГО ВОЗРАСТНОГО СОСТОЯНИЯ В ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСАХ г. АРХАНГЕЛЬСКА**

Изучена флюктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой по пяти признакам, вызванная нарушениями среды обитания. Получены сходные результаты по всем признакам у прегенеративных и генеративных особей.

*Ключевые слова:* пригородные леса, береза повислая, флюктуирующая асимметрия.

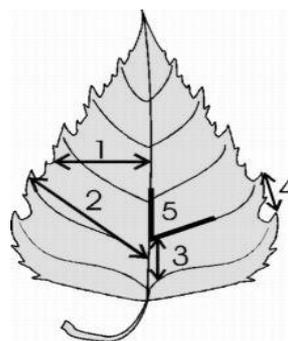
В настоящее время весьма актуальны исследования по влиянию выбросов промышленности и автотранспорта на жизнеспособность лесов. При изучении развития древостоя и его устойчивости к промышленным поллютантам часто используют наиболее доступный метод морфологического анализа, включающий анализ внешнего состояния насаждений. Измеряются основные морфометрические показатели, для оценки стрессового воздействия внешней среды исследуется флюктуирующая асимметрия – случайное небольшое отклонение по любому признаку двусторонне симметричного организма (органа) [1, 11]. Повышение частоты отклонений от симметрии чаще всего вызвано локальными загрязнениями и жесткими климатическими условиями. На территории Архангельской области расположено много крупных предприятий лесозаготовительной, целлюлозно-бумажной промышленности, судостроения, электроэнергетики, загрязняющих атмосферный воздух. Кроме этого, в последние годы возросло воздействие развивающегося автотранспорта [9, 10]. В связи с этим, если удастся доказать на практике достоверность метода флюктуирующей асимметрии для определения степени загрязнения среды обитания, то можно будет относительно легко проводить биомониторинг местности.

Цель нашей работы – определить флюктуирующую асимметрию листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) и развитие самого древостоя в пригородных лесах г. Архангельска, сделать вывод о качестве среды обитания. В задачу исследования входило также установить влияние возраста деревьев (прегенеративные и генеративные особи) на степень флюктуирующей асимметрии.

Объектом изучения неслучайно выбрана береза повислая. В последние десятилетия в результате активной лесохозяйственной деятельности на Европейском Севере появились огромные площади вторичных березово-осиновых лесов. С каждым годом они увеличиваются, что делает березу основной лесобразующей породой наравне с елью и сосной [3]. На территории области березняки изучались в основном Н.П. Чупровым [12] и О.А. Неволным [6], в первую очередь продуктивность древостоев. Исследования морфофизиологических свойств березы уже давно ведутся в Сибири и средней полосе России. Береза считается индикаторной породой и широко используется для определения изменений окружающей среды [2, 4, 7]. В Архангельской области таких работ практически нет.

Наши исследования проводились в июле 2008 г. в пригородных лесах Архангельска. В березняках черничных было заложено 5 пробных площадей на расстоянии 500 м от дороги Архангельск – Новодвинск, поскольку основным источником стрессового воздействия на древостой являются выбросы автотранспорта. Нельзя исключать также влияние выбросов целлюлозно-бумажных комбинатов г. Новодвинска и рекреационного воздействия на лес. По классификации Н.С. Казанской [5], пробные площади располагались в лесах, где наблюдается рекреационная дигрессия второй и третьей стадий. Кроме этого, на морфологических показателях могут отразиться резкая смена температур в течение года и потепление климата [9, 10].

Листья березы повислой, по 10 у прегенеративных (имматурные – *im* и виргильные – *V*) и генеративных ( $g^1$  и  $g^2$ ) деревьев каждой возрастной категории, собирали в нижней части кроны с конца июня по конец июля, когда заканчивался рост листовой пластинки. Ее асимметрию изучали по пяти признакам с левой и правой половин листа (см. рисунок): 1) ширина половины листа, 2) длина жилки второго порядка, 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок, 4) расстояние между концами первой и второй жилок, 5) угол между главной и второй от основания жилками.



Параметры измерений листовой пластинки

Для каждого листа вычисляли относительное различие между значениями всех пяти признаков с правой и левой стороны по формуле

$$Y = (L - R)/(L + R),$$

где  $L$ ,  $R$  – показатели левой и правой стороны листа.

В результате получали пять значений  $Y$ . Затем находили среднее относительное различие между сторонами по этим признакам для каждого листа по формуле

$$Z = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 / N,$$

где  $N$  – число признаков.

Далее определяли среднее относительное различие между сторонами по признакам для выборки по формуле

$$X_{\text{ср}} = \sum Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n / n,$$

где  $n$  – число значений  $Z$ , т. е. число листьев [4].

Состояние древостоя оценивали по пятибалльной шкале стабильности В.М. Захарова для березы повислой: I – условная норма ( $X_{\text{ср}} < 0,040$ ), II – относительная норма (0,040...0,044), III – средние нарушения (0,045...0,049), IV – существенные нарушения (0,050...0,054), V – критическое состояние ( $> 0,054$ ) [4].

Измеряли высоту и диаметр учетных деревьев на высоте 1,3 м, учитывали механические повреждения (затесы, ободранная кора, оголенные корни), количество сухих веток в кроне, высоту поднятия трещин на коре, фаутность, процент покрытия лишайниками.

По результатам замеров листовой пластинки наиболее устойчивым оказался пятый признак (угол между главной и второй от основания листа жилкой второго порядка) (табл. 1). Устойчивость признака отмечается практически на всех выборках как у генеративных, так и прегенеративных особей. Угол между жилками в среднем равен  $45^\circ$  у всех исследованных листьев. По четвертому признаку (расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка) показатели асимметрии оказались максимальными. Более резко они проявляются у прегенеративных особей, расхождения в среднем на 0,06 наблюдались по 6 выборкам из 8; у генеративных – на 0,03 по 8 выборкам из 10. Остальные три признака имеют незначительные



расхождения по асимметрии, в среднем на 0,02...0,01. Таким образом, по всем пяти признакам получены сходные результаты асимметрии как у пре-генеративных, так и у генеративных особей. Размеры листовой пластинки (два первых признака) больше у генеративных деревьев: ширина в среднем на 0,32, длина жилки второго порядка на 0,25 см.

После камеральной обработки данных средний интегральный показатель стабильности развития листовой пластинки оказался различным у прегенеративных и генеративных деревьев (табл. 2).

В работе Т.Ю. Ветчинниковой [2] установлена индивидуальная изменчивость растений по признакам асимметрии листовой пластинки. То же было обнаружено и в наших исследованиях. У 33 % изученных деревьев отмечено стабильное развитие листовой пластинки, что соответствует относительной норме загрязнения окружающей среды. У 50% деревьев уровень загрязнения был критическим.

Величина флюктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой у генеративных деревьев в целом по всем выборкам равна 0,051,

что по шкале А.М. Захарова соответствует баллу IV состояния (существенные нарушения) (табл.2). Если рассматривать относительные различия по первым четырем признакам, то они относятся к IV и V баллам. Только по пятому признаку отмечена очень низкая флюктуация ( $0,004 \pm 0,001$ ). Так, по третьему и четвертому признакам показатели соответствуют критическому состоянию; по первому и второму – существенным нарушениям.

Флюктуирующая асимметрия у прегенеративных деревьев относится к V баллу и согласуется с критическим состоянием окружающей среды ( $0,068 \pm 0,020$ ) (табл.2). По третьему и четвертому признакам наблюдаются самые высокие показатели нестабильного развития листовой пластинки ( $0,086 \pm 0,020$  и  $0,090 \pm 0,020$ ), соответствующие критическому состоянию. Показатели относительного различия по первому и второму признакам такие же, как у листьев генеративных особей ( $0,050 \pm 0,010$  и  $0,052 \pm 0,010$ ).

Более высокая флюктуирующая асимметрия у прегенеративных деревьев позволяет предположить ее зависимость от возрастного состояния деревьев, связь умеренная (коэффициент корреляции 0,3). Такие же выводы получены В.Ю. Солдатовой [8].

Установлено, что листовая пластинка шире у генеративных деревьев. Флюктуирующая асимметрия выше у прегенеративных деревьев, что позволяет предположить зависимость стабильности развития листовой пластинки березы повислой от возраста. Степень флюктуации как у генеративных, так и у прегенеративных деревьев очень высокая и согласно шкале А.М. Захарова соответствует значительным нарушениям в среде обитания.

Выявленная нами высокая флюктуирующая асимметрия не соответствует внешнему состоянию древостоя, что может быть связано с хорошей устойчивостью породы к антропогенной нагрузке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

5

1. *Василевская, Н.В.* Биология развития растений [Текст]: курс лекций. – Мурманск: Радица, 2008. – 100 с.
2. *Ветчинникова, Т.Ю.* Морфометрия листовой пластинки как показатель загрязнения окружающей среды [Текст] / Т.Ю. Ветчинникова // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. – 2005. – Вып. 63. – С. 194–196.
3. Динамика и перспектива лесопользования в Архангельской области [Текст] / Д.В. Трубин [и др.]. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. – 96 с.
4. Здоровье среды: методика оценки [Текст] / В.М. Захаров [и др.]. – М., 2000. – 66 с.
5. *Казанская, Н.С.* Рекреационные леса [Текст] / Н.С. Казанская, В.В. Ланина, Н.Н. Марфенин. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 96 с.
6. *Неволин, О.А.* Динамика сосново-березовых насаждений в типе леса сосняк-кисличник и лесоводственная эффективность рубок ухода [Текст] / О.А. Неволин, С.В. Третьяков, О.О. Еремина // Лесн. журн. – 2002. – № 2. – С. 17–22. – (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Нефедова, Т.А. *Betula pendula* Roth. как объект экологического мониторинга городской среды [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т.А. Нефедова. – М., 2003. – 23 с.

8. Солдатова, В.Ю. Биоиндикационная оценка состояния городской среды по величине флюктуирующей асимметрии березы плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz. (на примере Якутии) [Текст]: автореф. дис. ... канд. биол. наук / В.Ю. Солдатова. – Якутия, 2008. – 19 с.

9. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области в 2003 году [Текст]: сб. – Архангельск, 2004. – 323 с.

10. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области в 2007 году [Текст]: сб. – Архангельск, 2008. – 301 с.

11. Турмухаметова, Н.В. Морфологический подход к оценке состояния среды по асимметрии листа *Betula pendula* Roth. и *Fragaria vesca* L. [Текст] / Н.В. Турмухаметова, И.В. Шивцова // Лесн. вестн. – 2007. – № 5. – С. 140–143.

12. Чупров, Н.П. Березняки Европейского Севера России [Текст] / Н.П. Чупров. – Архангельск: СевНИИЛХ, 2008. – 386 с.

Поступила 24.06.09

I.B. Amosova<sup>1</sup>, P.A. Feklistov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pomor State University

<sup>2</sup>Arkhangelsk State Technical University

#### **Leaf Plate Asymmetry of Silver Birch of Various Age in Arkhangelsk Suburban Forests**

The fluctuating asymmetry of leaf plates of silver birch caused by the habitat disorder is studied according to five features. The similar results are obtained for all five features with pre-generative and generative specimen.

Keywords: suburban forest, silver birch, fluctuating asymmetry.

---

Таблица 1

## Средние показатели асимметрии листовой пластинки

Статистические показатели	Ширина половинки листа, см		Длина второй от основания листа жилки второго порядка, см		Расстояние между основаниями первой и второй жилки второго порядка, см		Расстояние между концами этих жилок, см		Угол между главной и второй от основания листа жилкой второго порядка	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Генеративные особи										
$M \pm m$	1,40± ±0,08	1,43± ±0,07	2,15± ±0,10	2,13± ±0,10	0,23± ±0,04	0,22± ±0,05	1,19± ±0,07	1,22± ±0,07	45,00± ±0,62	45,00± ±0,52
$\sigma$	0,22	0,22	0,30	0,31	0,14	0,15	0,21	0,23	1,95	1,64
$V$	17,31	15,19	14,08	14,37	61,81	66,04	17,90	18,72	4,31	3,61
$P$	5,47	4,80	4,55	4,54	19,55	20,88	5,66	5,92	1,36	1,14
$t$	18,27	20,81	22,46	22,01	5,12	4,79	17,67	16,90	73,43	87,54
Прегенеративные особи										
$M \pm m$	1,25± ±0,11	1,27± ±0,11	1,88± ±0,19	1,90± ±0,18	0,33± ±0,04	0,33± ±0,05	0,84± ±0,03	0,88± ±0,04	45,00± ±0,61	45,00± ±0,57
$\sigma$	0,32	0,31	0,54	0,52	0,13	0,14	0,09	0,12	1,73	1,60
$V$	25,88	24,64	28,68	27,23	37,89	41,25	10,34	13,24	3,85	3,60
$P$	9,15	8,71	10,14	9,63	13,40	14,58	3,66	4,68	1,36	1,27
$t$	10,93	11,48	9,86	10,39	7,46	6,86	27,35	21,37	73,50	78,49

Примечание. Л – левая половина листа; П – правая половина листа;  $M \pm m$  – среднее значение с основной ошибкой;  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение;  $V$  – коэффициент изменчивости;  $P$  – точность опыта, %;  $t$  – достоверность среднего значения.

Таблица 2

## Средний интегральный показатель стабильности развития листовой пластинки

Статистические показатели	Флюктуирующая асимметрия					Флюктуирующая асимметрия выборок (интегральный показатель) $X_{cp}$
	Ширина половинки листа $Y_1$	Длина второй от основания жилки второго порядка $Y_2$	Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка $Y_3$	Расстояние между концами этих жилок $Y_4$	Угол между главной и второй от основания листа жилками второго порядка $Y_5$	
Генеративные особи						
$M \pm m$	0,050± ±0,001	0,050± ±0,010	0,062± ±0,010	0,084± ±0,010	0,004± ±0,001	0,051± ±0,001
$\sigma$	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,01
$V$	29,81	36,52	58,30	32,34	101,03	26,51
$P$	9,43	11,55	18,44	10,23	31,95	8,38
$t$	10,61	8,66	5,42	9,78	3,13	11,93
Прегенеративные особи						
$M \pm m$	0,050± ±0,010	0,052± ±0,010	0,086± ±0,022	0,090± ±0,023	0,010± ±0,001	0,068± ±0,022
$\sigma$	0,02	0,04	0,05	0,05	0,01	0,05
$V$	45,41	79,92	53,60	56,44	61,38	68,24
$P$	16,06	28,26	18,95	19,96	21,70	24,13
$t$	6,23	3,54	5,28	5,01	4,61	4,15



## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630\*372/.375

**Ю. А. Ширнин, А.Ю. Ширнин**

Марийский государственный технический университет

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет около 250 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.  
E-mail: yushirnin@rambler.ru



Ширнин Александр Юрьевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Марийский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности МарГТУ. Имеет 10 печатных работ по исследованиям трелевки древесины.  
E-mail: kirsanov@marstu.mari.ru

**КОМБИНИРОВАННАЯ ТРЕЛЕВКА ДРЕВЕСИНЫ  
СО СМЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ**

Обоснованы технология и режимы работы трелевочной машины с двумя сменными технологическими модулями. Выявлена зависимость сменной производительности от параметров машины и лесосеки.

*Ключевые слова:* трелевочная машина, технологический модуль, складчатая рама, производительность.

Истощение лесного фонда, особенно на европейской территории России, создает необходимость вовлекать в эксплуатацию заболоченные и горные лесные массивы, где ограничены возможности использования колесных и гусеничных движителей. Одним из вариантов освоения таких лесосек может стать применение на трелевке канатных установок.

Проведены значительные исследования по созданию мобильных лебедочных установок [1–3], с помощью которых мачты устанавливаются на базовом тракторе. Они могут быть эффективны при освоении горных лесов, однако при небольших расстояниях трелевки требуется определенное время на монтаж оборудования. Перемещение мастерских участков при использовании таких установок сопряжено со значительными затратами времени и поэтому неэффективно на равнинной местности. Подобная технология используется также и за рубежом.

В литературе [2, 5] нашло отражение применение комбинированной трелевки. В Швеции выпускается агрегат НИАБ 5-15, осуществляющий лебедочную трелевку с помощью дистанционного пульта. Основным недостатком таких устройств является низкое размещение тягового каната, что не исключает упора хлыстов в пни и другие препятствия, а также нарушения лесной среды.

Исследованиям трелевки на переувлажненных грунтах посвящен ряд работ. В частности, в [6] длина пасеки обосновывается предельным числом проходов трелевочного трактора по волоку.

В связи с этим стали актуальными вопросы ограничения перемещений трелевочных машин в лесной среде, повышения доступности заболоченных и горных лесосек за счет использования комбинированного способа трелевки, под которым в нашем случае понимается сочетание в одном технологическом процессе двух видов трелевки: канатной и тракторной.

Целью настоящей работы является обоснование способа и режимов функционирования трелевочной машины со сменными технологическими модулями, разработанной в МарГТУ [4]. Поставлены следующие задачи: описать устройство технологических модулей, вывести формулу и рассчитать производительность в зависимости от параметров машины и лесосеки, дать необходимые рекомендации.

Лесозаготовительная машина имеет энергетический модуль 1 (рис. 1). К ней шарнирно (позиция 2) могут быть присоединены два технологических модуля. Первый (рис. 1, а) состоит из шасси 9, платформы 8, на которой находятся лебедка 3 с грузонесущим канатом 6 и чокерами 7 и складчатая рама 5, выполненная в виде пантографа. В основании рамы одна опора установлена шарнирно, а вторая с возможностью изменения положения в горизонтальной плоскости с помощью гидроцилиндра, шарнирно соединенного с рамой. В верхней части пантографа смонтирован грузовой блок 4. Второй модуль (рис. 1, б) состоит из шасси 13, платформы 12, на которой устанавливаются манипулятор 10 и грузовой отсек 11.

Комбинированная трелевка осуществляется следующим образом. Машина 1 заезжает по магистральному волоку к очередной пасеке с поваленными бензомоторной пилой деревьями, которые могут быть очищены от сучьев, например также бензопилой. Оператор, управляя гидроцилиндром складчатой рамы, изменяет положение опоры, поднимая на заданную высоту опорный блок 4, через который пропущен грузонесущий канат 6. Последний растаскивают по пасечному волоку до места формирования пачки

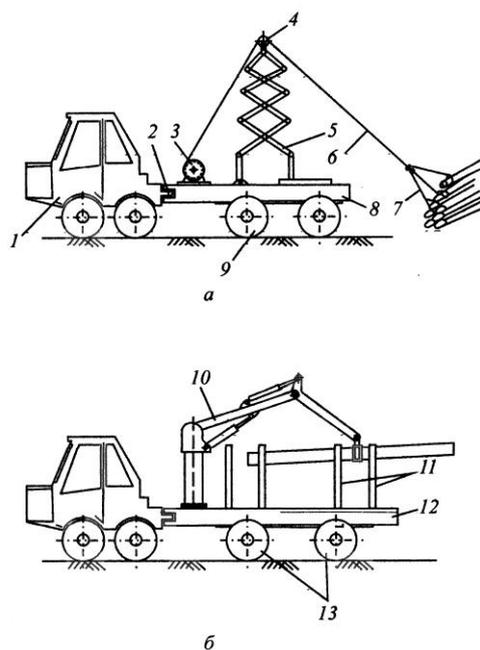


Рис. 1. Машина с модулем, оборудованном лебедкой и складчатой рамой (а) и грузовым отсеком (б)

хлыстов. Хлысты прицепляют чокерами 7, установленную на технологическом модуле лебедку 3 включают на наматывание грузонесущего каната, пачку хлыстов подтрелевывают к магистральному волоку и освобождают. Цикл повторяют до тех пор, пока не будут подтрелеваны с пасеки к магистральному волоку все деревья или пачки на длину грузонесущего каната.

После окончания трелевки всех доступных деревьев машина переезжает к другой пасеке, и цикл повторяется, пока не будет подтрелевана вся древесина с пасек, примыкающих к магистральному волоку. Далее хлысты раскрываюют любым из известных способов. В это время на верхнем складе меняют технологические модули машины.

Машина с модулем для трелевки сортиментов работает в режиме форвардера (см. рис. 1, б). Сортименты грузят захватом манипулятора 10 в грузовой отсек 11 и трелюют по магистральному волоку на верхний склад.

Схема разработки лесосеки описанной машиной представлена в работе [8]. С использованием изложенных в ней методов информационно-логического и математического моделирования получена формула для определения производительности первого этапа трелевки:

$$P_{\text{см}} = \frac{3600\phi_1 m M}{\frac{10^4 V_{\text{ср}} z}{ABq} \cdot \left( \frac{2l}{U_x} + t_{\text{м.с}} \right) + \frac{2 \cdot 10^4 V_{\text{ср}} z}{AB_{\text{п}} q} \left( t_{\text{м.л}} + t_{\text{р.с.р}} + \frac{B_{\text{п}}}{U_x} \right) + \frac{l_{\text{к}}}{U_{\text{р}}} + \frac{l_{\text{к}}}{U_{\text{т}}} + z(t_{\text{ч.х}} + t_{\text{с.ч}})}, \quad (1)$$

где  $\phi_1$  – коэффициент использования времени смены;

$m$  – продолжительность смены, ч;

$M$  – объем пачки, трелеваемой машиной, м<sup>3</sup>;

$V_{\text{ср}}$  – средний объем хлыста, м<sup>3</sup>;

$z$  – число чокеров;

$A$  – ширина делянки (протяженность вдоль уса), м;

$B$  – длина делянки (магистрального волока), м;

$q$  – средний запас леса на 1 га, м<sup>3</sup>;

$l$  – расстояние от верхнего склада до первой пасеки, м ( $l = b/2 + c$ , где  $b$  – ширина пасеки, м;  $c$  – расстояние от верхнего склада до пасеки, м);

$U_x$  – средняя скорость трелевочной машины без груза, м/с;

$t_{\text{м.с}}$  – время маневров на верхнем складе, с;

$B_{\text{п}}$  – длина пасеки, м;

$t_{\text{м.л}}$  – время маневров на лесосеке, с;

$t_{\text{р.с.р}}$  – время на раскладывание складчатой рамы, с;

$l_{\text{к}}$  – средняя длина растаскивания каната на пасеке, м;

$U_{\text{р}}, U_{\text{т}}$  – средняя скорость движения трелевочного каната без груза и с грузом, м/с;

$t_{\text{ч.х}}$  – время чокеровки хлыстов, с;

$t_{\text{с.ч}}$  – время снятия чокеров, с.

Зависимость сменной производительности трелевочной машины от средней длины растаскивания каната на пасаке и ширины деланки, рассчитанная по формуле (1), представлена рис. 2. Расчет выполнен при следующих исходных данных:  $t_{с.ч} = 20$  с;  $t_{ч.х} = 15$  с;  $t_{м.л} = 90$  с;  $t_{р.с.р} = 15$  с;  $t_{м.с} = 60$  с;  $z = 8$ ;  $U_T = 2$  м/с;  $U_p = 0,5$  м/с;  $U_x = 0,8$  м/с;  $B_{п} = 40$  м;  $q = 200$  м<sup>3</sup>;  $V_{ср} = 0,25$  м<sup>3</sup>;  $l = 35$  м;  $A = 200$  м;  $B = 400$  м;  $\phi_1 = 0,8$ ;  $m = 8$  ч;  $M = 2$  м<sup>3</sup>.

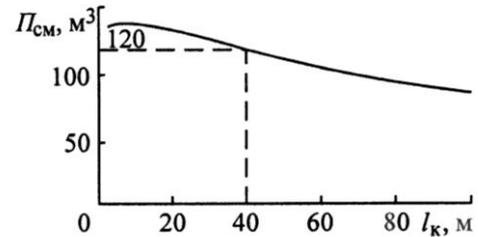


Рис. 2. График сменной производительности ( $P_{см}$ ) трелевочной машины на подтрелевке в зависимости от средней длины растаскивания каната на пасаке ( $l_k$ )

Анализ графика рис. 2 и уравнения (1) показывает, что при увеличении средней длины растаскивания каната на пасаке производительность трелевочной машины сначала растет, достигая максимального значения, а затем медленно уменьшается. При небольших длинах растаскивания каната время на перемещение машины между пасаками значительно, поэтому наблюдается резкий рост производительности. В дальнейшем возрастает доля времени на растаскивание каната и трелевку хлыстов и производительность падает.

Машина со вторым технологическим модулем, оборудованным грузовым отсеком, работает как форвардер. В работе [8] представлена формула его сменной производительности по описанной выше технологии:

$$P_{см} = \frac{3600\phi_1 m M}{\frac{B}{2U_x} + t_{м.л} + t_{р.т} + \frac{M}{Q_{п}} t_{д.з.у} + \frac{B}{2U_{г}}}, \quad (2)$$

где  $B$  – длина деланки ( $B/2$  – среднее расстояние трелевки), м;  
 $t_{р.т}$  – время на приведение технологического оборудования из транспортного в рабочее состояние, и наоборот, с;  
 $Q_{п}$  – объем древесины, захватываемой и погружаемой в грузовой отсек манипулятором за один прием, м<sup>3</sup>;  
 $t_{д.з.у}$  – время на доставку рейферного захвата к сортиментам, их захват и укладку в формировочное устройство, с;  
 $U_{г}$  – скорость трелевочной машины с грузом, м/с.

Зависимость сменной производительности форвардера от длины деланки, рассчитанная по формуле (2), представлена на рис. 3. Расчет выполнен при следующих исходных данных:  $U_{г} = 0,5$  м/с;  $U_x = 2$  м/с;  $t_{д.з.у} = 200$  с;  $Q_{п} = 1,5$  м<sup>3</sup>;  $M = 4$  м<sup>3</sup>;  $t_{р.т} = 30$  с;  $\phi_1 = 0,8$ ;  $m = 8$  ч.

Анализ графика и уравнения (2) показывает, что производительность форвардера уменьшается с увеличением длины делянки, т. е. с ростом среднего расстояния трелевки.

Графики на рис. 2 и 3 следует использовать для определения рационального режима работы трелевочной машины с двумя технологическими модулями. Например, при максимальной длине растаскивания каната на пачке  $l_k = 40$  м сменная производительность трелевочной машины с модулем, оборудованным лебедкой, равна  $P_{см} = 120$  м<sup>3</sup>. При длине делянки 400 м сменная производительность форвардера  $P_{см} = 60$  м<sup>3</sup>. Возможны два варианта рациональных режимов работы машины: 1) целую смену работает модуль с лебедкой на трелевке хлыстов, следующие две смены – модуль с грузовым отсеком; 2) одну треть смены трелюются хлысты к магистральному волоку, две трети смены форвардер трелюет сортименты на верхний склад. В обоих случаях производительность равна 40 м<sup>3</sup>.

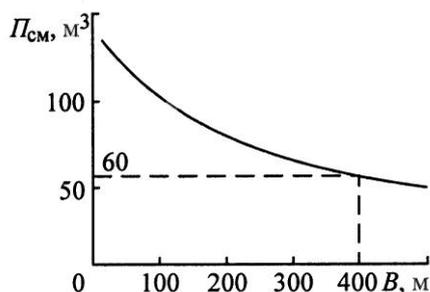


Рис. 3. График сменной производительности ( $P_{см}$ ) форвардера в зависимости от длины делянки ( $B$ )

#### Выводы

1. Предложенная конструкция модуля для трелевки хлыстов со складчатой рамой позволяет за короткий срок устанавливать опорный блок, благодаря чему пачка трелюется с приподнятым передним концом на значительные расстояния (до 80 м) и повышается производительность [7].

2. Модульный принцип обеспечивает интенсивную работу энергетического модуля и максимальную загрузку машины на втором этапе трелевки.

3. Полученные формулы и графики зависимости производительности от параметров машины и лесосеки дают возможность прогнозировать результаты работы модулей на двух стадиях комбинированной трелевки и обосновывать рациональный технологический процесс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарькуша, В.Н.* Теоретические основы определения параметров мобильных средств и технологических процессов для освоения горных лесов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01 / В.Н. Гарькуша. – Краснодар, 2002. – 43 с.

2. *Дроздовский, Г.П.* Технология и оборудование заготовки сортиментов при разработке заболоченных лесосек [Текст] / Г.П. Дроздовский, М.В. Коломина // Рациональное использование лесных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения Ю.Я. Дмитриева. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – С. 108–110.

3. Мобильные короткодистанционные канатные установки [Текст]: экспресс-информ. / Л.А. Занегин [и др.]. – М.: ВНИПИЭИлеспром, 1984. – 28 с.
4. Пат. 2348146 РФ, МКИ<sup>7</sup> А 01 G23/00. Машина для трелевки [Текст] / Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю., Богатырева Е.А., Аказова О.В.; заявитель и патенто-обладатель Марийск. гос. техн. ун-т. – № 2007127930/12; заявл. 20.07.2007; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7. – 5с.
5. Сортиментная заготовка леса [Текст]: учеб. пособие /В.А. Азаренок, Э.Ф. Герц, А.В. Мехренцев ; Урал. гос. лесотехн. акад. – Екатеринбург, 1999. – 129 с.
6. Цыгарова, М.В. Повышение эффективности освоения лесосек с переувлажненными грунтами путем обоснования рациональной технологии (в условиях Республики Коми) [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / М.В. Цыгарова. – СПб., 1998. – 21 с.
7. Ширнин, А.Ю. Экспериментальные исследования канатной подтрелевки [Текст] /А.Ю. Ширнин // Лесн. вестн. – 2006. – № 1. – С. 72–75.
8. Ширнин, Ю.А. Методика обоснования режимов работы технологических модулей при комбинированной трелевке древесины [Текст] / Ю.А. Ширнин, А.Ю. Ширнин // Вестн. Марийск. гос. техн. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. – Йошкар-Ола, 2008. – № 2 – С. 51–59.

Поступила 24.08.09

*Yu.A. Shirnin, A.Yu. Shirnin*  
Mari State Technical University

### **Combined Skidding of Wood with Replacement Technological Units**

Technology and operating modes of the skidding machines with two replacement technological units are justified. The dependence of replacement productivity on the machine parameters and cutting area is revealed.

Keywords: skidding machine, technological unit, folded frame, productivity.

---

УДК 630\*308:504.3.054:656

***А.Н. Заикин***

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Заикин Анатолий Николаевич родился в 1949 г., окончил в 1975 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, действительный член МАНЭБ. Имеет около 170 печатных работ в области совершенствования техники и технологии лесозаготовок.  
E-mail: mail@bgita.ru



### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК КАК ОСНОВА СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

Рассмотрены виды отрицательного воздействия машин на лесные экосистемы, проблемы снижения его уровня. Предложены аналитические модели расчета объемов вредных выбросов и их снижения, а также площадей лесных почв, сохраненных от возможного техногенного воздействия машин.

*Ключевые слова:* лесозаготовительные машины и оборудование, вредные выбросы, сроки разработки лесосеки.

В последние десятилетия проблема снижения отрицательного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы при сплошных рубках стала ключевой не только при проектировании новой техники, но и при организации ее работы. Поэтому целью данной работы является: определение факторов, влияющих на степень этого воздействия; разработка математических моделей, позволяющих при правильной организации работы машин рассчитать размер его снижения в зависимости от среднего объема хлыста и объемов производства.

Повреждения, причиняемые техникой природной среде, можно условно разделить на четыре группы. Это повреждения стволовой части дерева и корневой шейки (разрыв и обдир коры, облом сучьев, ошмыг крон, слом вершин); корней (видимые и невидимые переломы, разрыв корней, обдиры их коры); почвенного покрова (уплотнение почвы с ухудшением питательных функций корневых систем, образование колеи, эрозия); попадание топлива, масел и выхлопных газов в лесную экосистему. Кроме того, факторы, определяющие степень воздействия машин на лесные экосистемы, делятся на природно-климатические, организационно-технологические и конструктивные

[1]. Сущность природно-климатических факторов очевидна. К организационно-технологическим относятся состояние участка леса, применяемые технологии и системы машин, а также форма и уровень оплаты труда рабочих, занятых на лесозаготовках, их квалификация, форма контроля за проведением работ.

Наибольший интерес представляют назначение и организация оптимальных режимов работы машин, а также снижение их негативного воздействия на лесные экосистемы (ЛЭС). Как показали проведенные нами исследования, при правильной организации работы можно значительно (до 30 %) уменьшить сроки освоения лесосеки. Это дает возможность снизить техногенное воздействие машин на лесные почвы, объем выбросов CO, NO<sub>x</sub>, СН и других веществ, загрязняющих атмосферу. Улучшение качества технического обслуживания также позволит повысить экологичность машин. Такой подход к минимизации негативного воздействия машин на ЛЭС пока недостаточно изучен и практически не используется. В связи с этим стоит задача разработать математические модели для определения режимов работы лесосечных машин и выработать рекомендации по ее организации в конкретных природно-производственных условиях, обеспечивающих снижение уровня вредного воздействия машин.

Объем отравляющих веществ, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами двигателей лесных машин ( $V_B$ ), можно определить по формуле

$$V_B = \sum q_{sji} N_{eji} n_{ji} D_{ji} T_{cm} k_{ji}, \quad (1)$$

где  $q_{sji}$  – доля выбросов каждого  $s$ -го элемента  $j$ -м типом машин на  $i$ -й операции, мг/ч;

$N_{eji}$  – мощность двигателя  $j$ -й машины на  $i$ -й операции, кВт;

$n_{ji}$  – число работающих машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;

$D_{ji}$  – число дней работы машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;

$T_{cm}$  – продолжительность смены, ч;

$k_{ji}$  – коэффициент сменности работы машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции.

Поддержание оперативных запасов на определенном для конкретных условий уровне с учетом подключения дополнительных машин на отступающих операциях дает возможность увеличить объем выработки комплекта машин и, как следствие, уменьшить число дней их работы на лесосеке за счет сокращения внутрисменных простоев на смежных операциях [2]. В результате снижается объем выбросов в атмосферу с выхлопными газами; вредное влияние на почвенный покров, особенно в весенний период; шумовое воздействие и др. Объем уменьшения вредных выбросов ( $V_{BS}$ ) может быть рассчитан по формуле

$$V_{BS} = \sum q_{sji} N_{eji} n_{ji} D_{э.в} T_{cm} k_{ji}. \quad (2)$$

Здесь  $D_{э.в}$  – число дней, на которое сокращается время разработки

лесосеки за счет изменения численности или сменности работы лесосечных машин,

$$D_{э.в} = D_{р.о} - D_{р.д}, \quad (3)$$

где  $D_{р.о}$ ,  $D_{р.д}$  – число дней разработки лесосеки соответственно при минимальной и максимальной выработке комплекта.

Значения  $D_{р.о}$ ,  $D_{р.д}$  можно определить по формулам

$$D_{р.о} = Q_{л} / \sum Q_{\min}; \quad (4)$$

$$D_{р.д} = Q_{л} / \sum Q_{\max}, \quad (5)$$

где  $Q_{л}$  – объем древесины на лесосеке, м<sup>3</sup>;

$Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$  – минимальный и максимальный сменный объем выработки комплекта машин за рассматриваемый период (месяц), м<sup>3</sup>.

Время разработки лесосеки сокращается при увеличении численности лесосечных машин или сменности их работы на отстающих операциях. При этом появятся дополнительные выбросы вредных веществ в атмосферу ( $V_{вс}^a$ ), объем которых можно рассчитать по формуле

$$V_{вс}^a = \sum q_{sji} N_{еji}^a n_{ji}^a D_{ji}^a T_{см} k_{ji}^a, \quad (6)$$

где  $N_{еji}^a$  – мощность двигателя дополнительной машины  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;

$n_{ji}^a$  – число дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции (как правило,  $n_{ji}^a = 1$ );

$D_{ji}^a$  – число дней работы дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции, определяется по методике [2];

$k_{ji}^a$  – коэффициент сменности работы дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции (как правило,  $k_{ji}^a = 1$ ).

Число дней работы дополнительного оборудования в течение всего периода разработки лесосеки определяется как произведение продолжительности работы ( $t_{ji}$ ) этих машин [2] за каждый отдельный месяц на общее число месяцев ( $n_m$ ):

$$D_{ji}^a = t_{ji} n_m. \quad (7)$$

Значение  $n_m$  является частным от деления общего запаса древесины на лесосеке ( $Q_{л}$ ) на объем, заготовленный за отдельный месяц ( $Q_m$ ):

$$n_m = \frac{Q_{л}}{Q_m}, \quad (8)$$

где  $Q_m = Q_{\max} T_n$  ( $T_n$  – число дней работы в расчетном месяце).

Тогда абсолютное уменьшение объема вредных выбросов в атмосферу каждого отдельного  $s$ -го элемента ( $V_{вс}^a$ ) может быть рассчитано по формуле

$$V_{\text{вс}}^{\text{а}} = V_{\text{вс}} - V_{\text{вс}}^{\text{д}}. \quad (9)$$

Разработку зимних лесосек желательно заканчивать до начала интенсивного таяния снега. Предлагаемая нами методика, как показывают исследования в натуре и на модели, позволяет значительно сократить продолжительность разработки каждой конкретной лесосеки, заранее проанализировав возможные варианты организации производства, своевременно начав и закончив работу. В результате может быть снижено техногенное воздействие машин на лесные почвы.

Размер площадей лесных почв, на которых возможно снижение техногенного воздействия ( $S_c$ ), зависит от числа дней, на которое уменьшится время разработки лесосеки, дневного объема выработки комплекта лесосечных машин и среднего запаса на 1 га:

$$S_c = K_{\text{э.в}} \frac{Q_{\text{max}} D_{\text{э.в}}}{g_{\text{ср}}}, \quad (10)$$

где  $K_{\text{э.в}}$  – коэффициент использования сэкономленного времени;

$g_{\text{ср}}$  – средний запас древесины, м<sup>3</sup>.

При разработке летних лесосек есть вероятность компенсировать простои машин из-за затянувшихся дождей, обеспечить соответствующее увеличение объемов выработки на каждой операции отдельным комплектом машин. Такая организация позволяет эксплуатировать лесосечные машины в более сухой период времени, что значительно снижает их вредное воздействие на почвенный покров.

Поддержание оперативных запасов на определенном для конкретных условий уровне с учетом подключения дополнительных машин на отстающих операциях дает возможность увеличить объем выработки комплекта машин до 40 % (табл. 1) и, как следствие, уменьшить число дней их работы на лесосеке до 30 %.

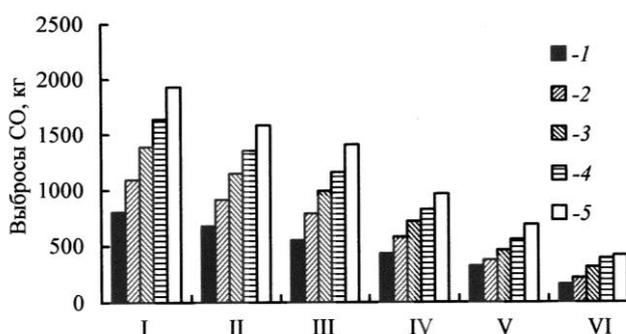
Снижение вредных выбросов оксида углерода рассчитываем по формуле (2). Для дизельных двигателей удельный объем выбросов составляет 14 г/(кВт·ч) [3], все машины (в данном примере их 4) работают на базе трактора ТТ-4 мощностью 95,6 кВт, принимаем 7-часовой рабочий день и коэффициент сменности работы машин, равный 1. Для карбюраторных двигателей удельный объем выбросов СО в 10 раз больше – 140 г/(кВт·ч). Мощность двигателя МП-5 – 3,7, «Тайга-214» – 2,6 кВт. Зная объем снижения вредных выбросов и выбросов от дополнительно подключаемых машин, по формуле (9) можно рассчитать абсолютное уменьшение объема вредных выбросов в атмосферу каждого отдельного  $s$ -го элемента. На основании полученных данных построен график зависимости объема выбросов СО от среднего объема хлыста и годового объема производства (см. рисунок).

Таблица 1

**Объем выработки комплекта машин в зависимости от среднего объема хлыста**

Средний объем хлыста, м <sup>3</sup>	Норма выработки, м <sup>3</sup> /дн.			Объем выработки, м <sup>3</sup> /дн.		Увеличение объема выработки	
	ЛП-19 (1 шт.)	ЛТ-154 (2 шт.)	ЛП-33А (1шт.)	$P_{\max}$	$P_{\min}$	м <sup>3</sup> / дн.	%
0,22...0,29	165	174	123	174	123	51	41,5
0,30...0,39	195	200	144	200	144	56	38,9
0,40...0,49	225	218	163	225	163	62	38,0
0,50...0,75	265	234	190	265	190	75	39,5
0,76...1,10	310	248	223	310	223	87	39,0
≥ 1,10	355	264	260	355	260	95	36,5

Изменение абсолютного снижения объемов вредных выбросов: I – средний объем хлыста 0,29; II – 0,39; III – 0,49; IV – 0,75; V – 1,0; VI – 1,1 м<sup>3</sup> и более; I – годовой объем производства 12; 2 – 16; 3 – 20; 4 – 24; 5 – 28 тыс.м<sup>3</sup>



Анализ показывает, что для одного и того же объема хлыста абсолютное снижение объема выбросов CO изменяется незначительно, а для одного и того же объема производства с увеличением среднего объема хлыста – более чем в 2 раза.

Из приведенных данных следует, что объем вредных выбросов снижается на 9...21 % от общего их объема, при этом для среднего объема хлыста 0,22...0,29 м<sup>3</sup> – на 20...21, для 1,10 м<sup>3</sup> и более – на 8...10 %.

Анализ полученной зависимости показывает ее линейный характер. Для отдельного объема хлыста с увеличением объема производства абсолютное снижение объема вредных выбросов возрастает, а с увеличением объема хлыста при одном и том же объеме производства это снижение уменьшается. Это объясняется тем, что в первом случае число дней разработки лесосеки увеличивается, а во втором уменьшается.

Зная число дней, на которое сокращается время разработки лесосеки в зависимости от среднего объема хлыста и объема производства, по формуле (10) рассчитываем площади лесных почв, на которых возможно снижение техногенного воздействия машин (табл. 2). Анализ результатов показывает, что даже при минимальном коэффициенте использования сэкономленного времени площади этих почв достигают значительных размеров, в среднем от 4 до 10 га.

Таблица 2

**Площади лесных почв (min – max), на которых возможно снижение техногенного воздействия машин**

Годовой объем произ- водства, тыс. м <sup>3</sup>	Площадь сохраненных почв, га, при объеме хлыста, м <sup>3</sup>					
	0,22...0,29	0,30...0,39	0,40...0,49	0,50...0,75	0,76...1,10	≥ 1,10
12	4,0...40,0	3,8...38,0	3,9...39,0	4,0...40,0	4,1...41,0	3,6...36,0
14	4,9...49,0	4,5...45,0	4,5...45,0	4,6...46,0	4,6...46,0	4,4...44,0
16	5,5...55,0	5,1...51,0	5,1...51,0	5,3...53,0	5,2...52,0	5,0...50,0
18	6,2...62,0	5,8...58,0	5,5...55,0	6,0...60,0	5,9...59,0	5,3...53,0
20	6,9...69,0	6,5...65,0	6,4...64,0	6,6...66,0	6,6...66,0	6,2...62,0
22	7,7...77,0	7,2...72,0	6,9...69,0	7,3...73,0	7,2...72,0	6,8...68,0
24	8,3...83,0	8,5...85,0	8,2...82,0	8,6...86,0	8,5...85,0	8,0...80,0
26	9,0...90,0	8,5...85,0	8,2...82,0	8,6...86,0	8,5...85,0	8,0...80,0
28	9,7...97,0	9,0...90,0	9,0...90,0	9,0...90,0	9,3...93,0	8,6...86,0

#### Выводы

1. Организационно-технологические факторы, в частности назначение и организация оптимальных режимов работы машин, позволяют с наименьшими затратами повысить эффективность и снизить их негативное воздействие на лесные экосистемы.

2. Предложенные математические модели дают возможность определить объемы выбросов отравляющих веществ с отработавшими газами и площади лесных почв, сохраненных от возможного техногенного воздействия машин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, Ю.Ю. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок [Текст] / Ю.Ю. Герасимов, В.С. Сюнев. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1998. – 178 с.

2. Заикин, А.Н. Моделирование режимов работы лесосечных машин [Текст] / А.Н. Заикин // Лесн. журн. – 2009. – № 1. – С. 71–77. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Климов, О.Г. Влияние выбросов лесохозяйственных тракторов на состояние экологии [Текст] / О.Г. Климов // Лесн. хоз-во. – 2003. – № 1. – С. 46–47.

Поступила 12.02.09

*A.N. Zaikin*

Bryansk State Engineering-Technological Academy

#### **Simulation of Logging Processes as Basis of Lowering Negative Impact of Forest Machines on Forest Ecosystems**

The types of negative impact of machines on the forest ecosystems, reduction of its level are considered. The analytical models for calculation of harmful emissions and their lowering, forest areas, their conservation from the possible technogeneus impact of machines are proposed.

Keywords: forest machines and equipment, harmful emissions, terms of the logging site development.

УДК 624.21:691.16

**В.П. Стуков**

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

Стуков Валерий Павлович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства верфи филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ, почетный дорожник РФ. Имеет более 80 печатных работ в области исследований работы и расчета балок комбинированного сечения, составленных из древесины и бетона; пространственных методов расчета балочных пролетных строений мостов.  
E-mail: stukovvp@mail.ru



## **ОПТИМИЗАЦИЯ БАЛКИ ДЕРЕВОЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ АВТОДОРОЖНОГО МОСТА**

Рассмотрена задача оптимизации высоты ребра деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности в соответствии с нормами на проектирование мостов.

*Ключевые слова:* деревожелезобетонная балка, высота ребра, оптимизация.

Исследования зарубежных и отечественных ученых [3, 6, 7] убедительно показали, что древесина, особенно клееная, при надлежащей конструкционной и химической защите способна длительное время (до 50 лет и более) работать в мостовом сооружении и отвечать всем предъявляемым к ней требованиям. Как естественный полимер в силу специфики структуры она устойчива в слабых агрессивных щелочных и кислотных средах.

В мостах с деревожелезобетонными пролетными строениями ребро из клееной древесины объединено с железобетонной плитой для их совместной работы. Подобное сочетание материалов позволяет повысить капитальность моста, защитить клееную древесину от прямого воздействия агрессивной среды, получить экономию древесины до 20...25 % в зависимости от пролета балок, степени связи плиты и ребра, других параметров.

Целью нашего исследования является оптимизация деревожелезобетонной балки, что напрямую связано с экономией клееной древесины при соблюдении требований проектирования по предельным состояниям и нормальной эксплуатации.

Деревожелезобетонная балка является составной, совместную работу ее ветвей обеспечивают связи сдвига и поперечные. А.Р. Ржаницын [3] основное внимание уделяет рациональному размещению связей по длине балки, что является важным элементом в проектировании и обеспечении оптимальной несущей способности. В.И. Кулиш [1] делает выводы, что за

счет объединения деревоклееного ребра и железобетонной плиты можно значительно увеличить несущую способность и жесткость пролетного строения из таких балок, уменьшить высоту ребра из клееной древесины в 1,5 раза, а скалывающие напряжения в 2 раза.

Нами исследованы мосты с деревожелезобетонными пролетными строениями, длина пролетов  $l = 9 \dots 33$  м [5]. В балке ребро из клееной древесины и железобетонная плита для совместной работы соединены стальными нагелями. Одним концом они вклеены в отверстия, рассверленные в древесине ребер, а другим замоноличены в бетоне плиты. Такое соединение обладает составностью, т. е. при работе под нагрузкой между ветвями композитной балки имеют место сдвиги. Степень составности зависит от ряда характеристик соединения, которое во всех случаях должно обеспечивать упругую работу конструкции без остаточных деформаций под нагрузкой. Согласно работам [1, 3] степень составности подобной балки можно характеризовать коэффициентом  $\psi$ , который представляет соотношение сдвигающих усилий ветвей составной и монолитной балок.

В работе [2] коэффициент составности  $\psi$  рассматривается как соотношение прогибов монолитной и составной балок, что тоже в полной мере отвечает специфике их работы.

На рис.1 представлена составная деревожелезобетонная балка с ребром из клееной древесины и железобетонной плитой, объединенных стальными нагелями с шагом  $c$  по длине балки [4, 5].

Задача оптимизации деревожелезобетонной балки многокритериальна. Балка должна удовлетворять условиям прочности, устойчивости, трещиностойкости (для плиты), деформаций, изготовления, транспортировки, монтажа и т. д. При определении размеров ветвей следует учитывать ее работу в составе пролетного строения моста, поскольку, например, толщина плиты и армирование зависят от шага балок.

Оптимизация балки выполнена из условий удовлетворения несущей способности и деформаций. В данной статье рассмотрены пролеты  $l = 9$  и 18 м при шаге балок  $d = 1,8$  м. Пролет  $l = 9$  м представляет нижнюю границу рассматриваемых. Здесь при расчетных нормируемых нагрузках имеют место наибольшие поперечные силы на опорах, и при определении опти-

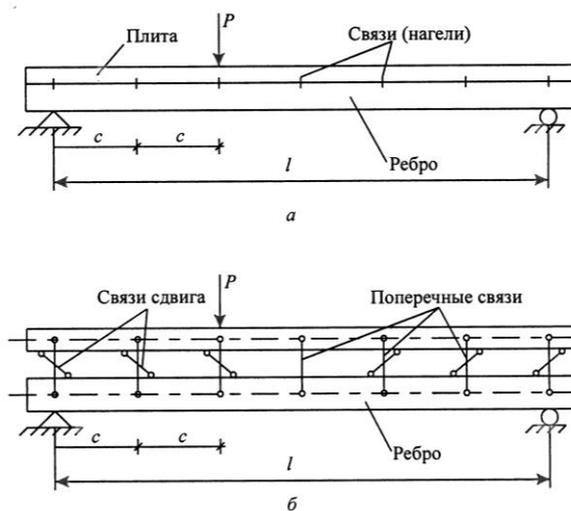


Рис. 1. Деревожелезобетонная балка – составная стержень: а – нагельное соединение ветвей; б – схема связей

мальных размеров деревоклееного ребра решающей может быть его прочность по поперечной силе. Пролет балки  $l = 18$  м является наибольшим в практике отечественного мостостроения для деревянных мостов из клееной древесины с деревоплитой, построенных по действующим типовым проектам 810-Р и 810-К. Подобный пролет имеют деревожелезобетонные пролетные строения моста через р. Лявлю [4, 5]. Рассматриваемый шаг балок  $d = 1,8$  м близок к используемому в типовом проектировании  $d = 1,2 \dots 1,6$  м и в большей мере отвечает конструкции железобетонной плиты без армирования отогнутой арматурой поперек пролетного строения. Толщина плиты  $0,15$  м принята как традиционная для железобетонных пролетных строений.

На рис. 2, а представлены графики изменения оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$  для пролета  $l = 9$  м. Несущая способность балки по изгибающему моменту  $M_{оп}$  определялась исходя из достижения нормальных растягивающих напряжений в крайнем нижнем волокне балки, равных расчетному сопротивлению изгибу клееной древесины. Несущая способность по поперечной силе  $Q_{оп}$  определена исходя из достижения скалывающими

напряжениями в опорном сечении деревоклееного ребра наибольших расчетных значений вдоль волокон по клеявым швам при изгибе. Соответствующие графики  $M_{оп}$  и  $Q_{оп}$  дают информацию об изменении оптимальной высоты ребра балки  $h_{оп}$  в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$ . Оптимальная высота ребра балки  $h_{оп}$  из удовлетворения требований по прогибам  $f_{lim} = 1/400 l$  представлена графиком  $f_{lim}$ . Чтобы запроектировать деревожелезобетонную балку с оптимальной высотой ребра  $h_{оп}$  с учетом всех рассматриваемых требований, следует принять коэффициент составности балки  $\psi = 0,92$ , получаемый по

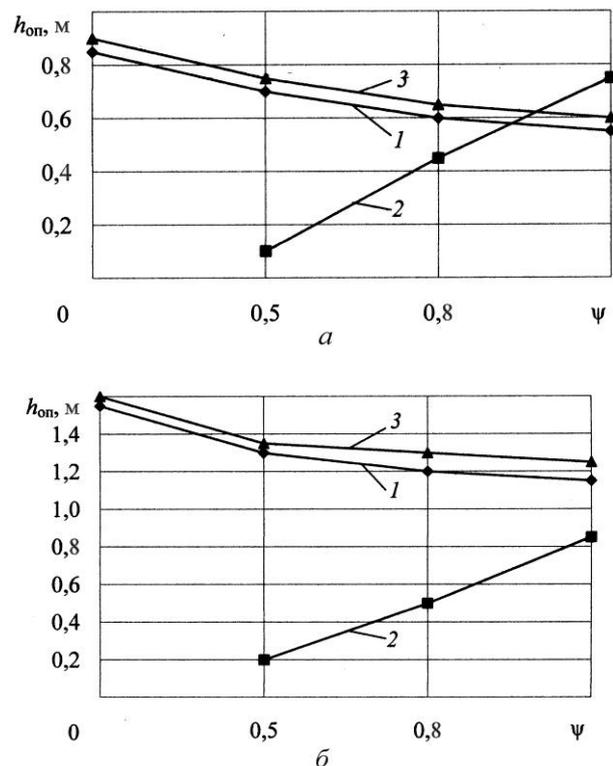


Рис. 2. Графики зависимости оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  от коэффициента составности  $\psi$  деревожелезобетонной балки пролетом 9 м (а) и 18 м (б): 1 –  $M_{оп}$ ; 2 –  $Q_{оп}$ ; 3 –  $f_{lim}$

оси абцисс как проекцию точки пересечения графиков  $Q_{оп}$  и  $f_{lim}$ . Оптимальная высота ребра  $h_{оп}$  равна 0,63 м. При меньшей высоте ребра не удовлетворяется условие прочности по поперечной силе. Принятие большей высоты ребра связано с конструктивным решением связей, толщиной плиты и другими факторами.

Графики изменения оптимальной высоты ребра балки  $h_{оп}$  для пролета  $l = 18$  м представлены на рис. 2, б. Учтены те же требования к несущей способности по изгибающему моменту, поперечной силе, прогибам, что и для пролета  $l = 9$  м. Как видно из графиков, при установлении оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  определяющим является требование по  $f_{lim}$ . Следует заметить, что добиваться коэффициента составности  $\psi = 1$  не имеет смысла. Это связано с конструктивными сложностями и не приносит существенного уменьшения высоты ребра по сравнению с  $\psi = 0,7 \dots 0,8$ , достаточным с точки зрения конструктивных решений связи ветвей и эффективности их совместной работы в деревожелезобетонной балке.

Разработка подобных графиков изменения оптимальной высоты ребра  $h_{оп}$  деревожелезобетонной балки в зависимости от коэффициента ее составности  $\psi$  для диапазона пролетов  $l = 9 \dots 33$  м совместно с уже имею- б ья результатами исследований позволяет решать вопросы проектиро- деревожелезобетонных пролетных строений мостовых сооружений исходя из рационального использования материалов, в частности клееной древесины, при удовлетворении всех требований проектирования и нормальной эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулиш, В.И. Клееные деревянные мосты с железобетонной плитой [Текст] / В.И. Кулиш. – М.: Транспорт, 1979. – 160 с.
2. Мельников, Ю.О. Влияние податливости связей на прочность и жесткость деревобетонных мостовых балок [Текст] / Ю.О. Мельников // Тр. СибАДИ. – Омск, 1970. – № 3. – С. 35–45.
3. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
4. Стуков, В.П. Мосты с балками комбинированного сечения из клееной древесины и железобетона [Текст] / В.П. Стуков. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 1997. – 175 с.
5. Стуков, В.П. Мосты с деревожелезобетонными пролетными строениями [Текст]: моногр. / В.П. Стуков. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2007. – 348 с.
6. Gibas, D. The timber bridge: an old and new concept [Text] / D. Gibas // Forest Prod. – 1983. – 33, N 11–12. – P. 6–7.4.
7. Gutkowski, R. Timber bridge: State-of-the-art [Text] / R. Gutkowski, T. Williamson // Journ. of Structural Engineering. – 1983. – Vol. 109, N 9. – P. 2175–2191.

Поступила 11.09.09

---

*V.P. Stukov*

Sevmashvtuz, Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

**Optimization of Wooden Reinforced-concrete Beam of Road Bridge Span**

The problem of optimizing the edge height of wooden reinforced-concrete beam depending on the ratio of its components in accordance with the bridge design standards is considered.

Keywords: wooden reinforced-concrete beam, edge height, optimization.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047

*И.М. Меркушев*

Московский государственный институт леса

Меркушев Иван Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1957 г. Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии мебели и изделий из древесины Московского государственного университета леса. Имеет свыше 100 печатных работ в области деревообработки и развития лесосушильной техники и технологии сушки древесных материалов.  
Тел.: (8495) 512-75-92



### ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА РАВНОВЕСНОЙ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Получена аналитическая зависимость психрометрической разности между температурой по сухому и смачиваемому термометрам от температуры сушильного агента и равновесной влажности древесины; построена рабочая психрометрическая диаграмма равновесной влажности – базовый инструмент для расчета рациональных режимов сушки пиломатериалов.

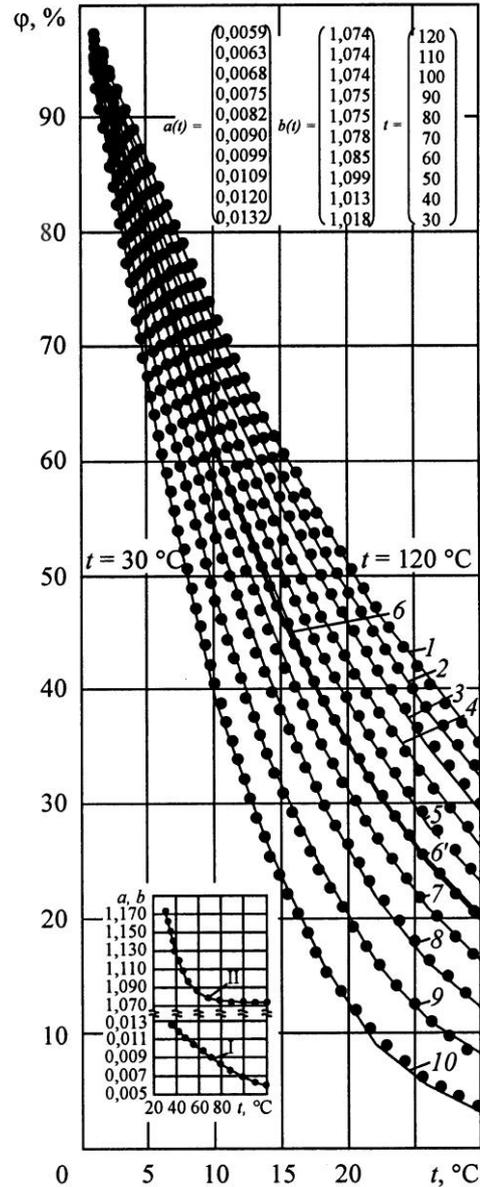
*Ключевые слова:* психрометрическая таблица, диаграмма равновесной влажности, конгруэнтное совмещение, аналитическая функция, безопасные режимы сушки.

Рациональные режимы сушки пиломатериалов направлены на обеспечение минимальной длительности процесса при сохранении высокого качества материала, соответствующего назначению. Для построения безопасных режимов сушки требуется точная зависимость психрометрической разности  $\Delta t$  и равновесной влажности древесины  $W_p$  от температуры  $t$ . Однако, определить зависимость  $\Delta t(W_p, t)$  существующими методами по психрометрической таблице [2] в диапазоне относительной влажности воздуха  $\phi = 97...100\%$  и по диаграмме равновесной влажности древесины [3] в диапазоне равновесной влажности  $W_p = 25...30\%$  практически невозможно. Чтобы преодолеть затруднение, нами предложено решать эту задачу графо-аналитическим методом в три этапа.

Этап 1. Из психрометрической таблицы [2, с. 34–35, табл. 4.5] массив данных  $\phi_i(\Delta t)$  по программе MathCAD [1] переводится в графическую форму (рис. 1). Путем конгруэнтного совмещения базовых кривых с кривыми трансцендентных уравнений типа  $\phi = 100^{1-a(t)\Delta t^{b(t)}}$  по графикам подобраны показательные и степенные функции температуры  $a(t)$  и  $b(t)$  и получена общая аналитическая функциональная зависимость

$$\phi_t(\Delta t) = 100^{1-[0,006+10^{-5}(120-t)^{1,46}]\Delta t^{1,074+10^{-17}(146-t)^{7,77}}} \quad (1)$$

Рис. 1. Перевод графической интерпретации психрометрической таблицы  $\phi_t(\Delta t)$  (тонкие линии) в аналитическую функцию  $\phi(t, \Delta t) = 100^{1-a(t)-\Delta t^{bt}}$  (...): 1 –  $t = 120$  °C; 2 – 110; 3 – 100; 4 – 90; 5 – 80; 6 – 70; 6' –  $\phi_{r70}(\Delta t)$  – жирная линия; 7 – 60; 8 – 50; 9 – 40; 10 – 30 °C;  
 I –  $a(t) = 0,006 + \frac{(120-t)^{1,46}}{10^5}$ ;  
 II –  $b(t) = 1,074 + \frac{(146-t)^{7,77}}{10^{17}}$



Этап 2. Аналогичным образом база данных равновесной влажности  $\phi_r(W_p)$  из диаграммы равновесной влажности [3, с. 30] переведена в графическую форму (рис. 2), из которой путем конгруэнтного совмещения кривых показательных-степенных функций с соответствующими базовыми кривыми  $\phi(W_p, t)$  получена ее аналитическая зависимость, представленная в развернутом виде следующим выражением:

$$\phi(W_p, t) = 100^{1 - (1,88 - 0,0025t)^{1,44 - 0,011t} - W_p^{0,66 + 10^{-6}t^{2,6}}} \quad (2)$$

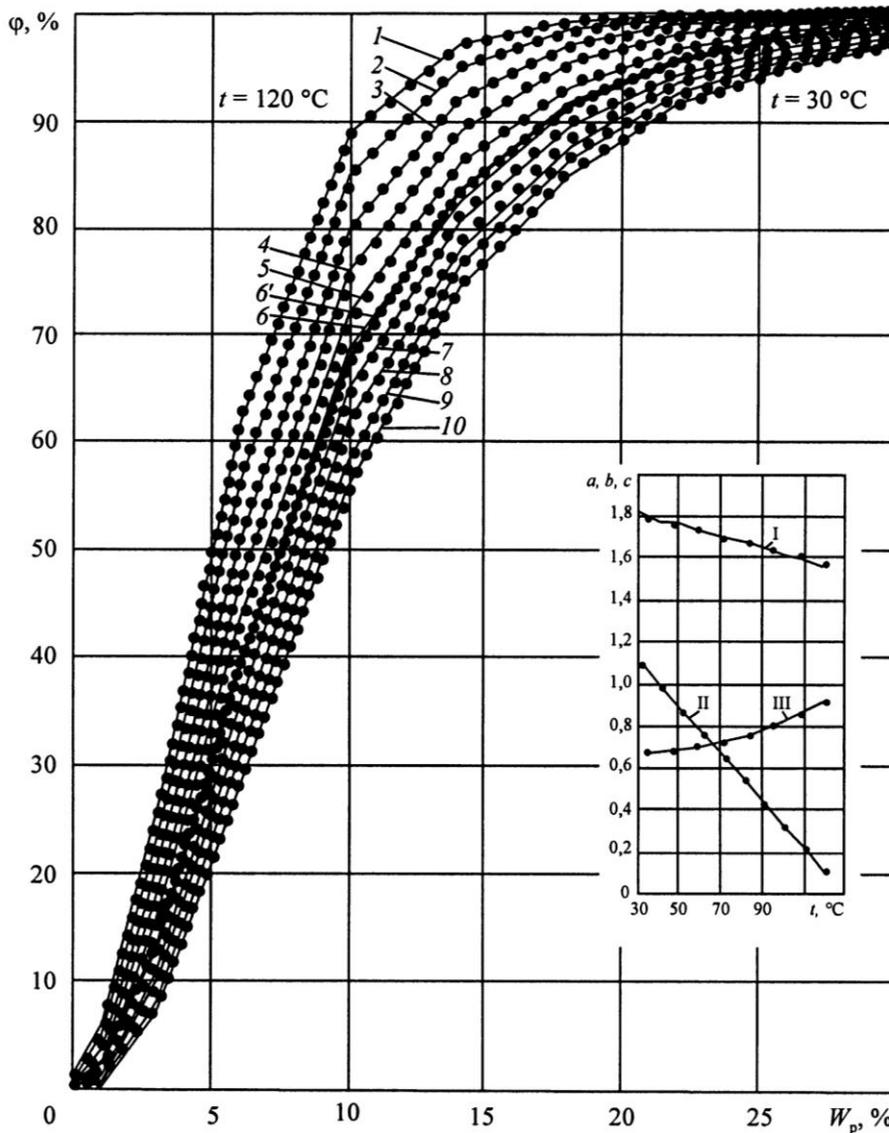
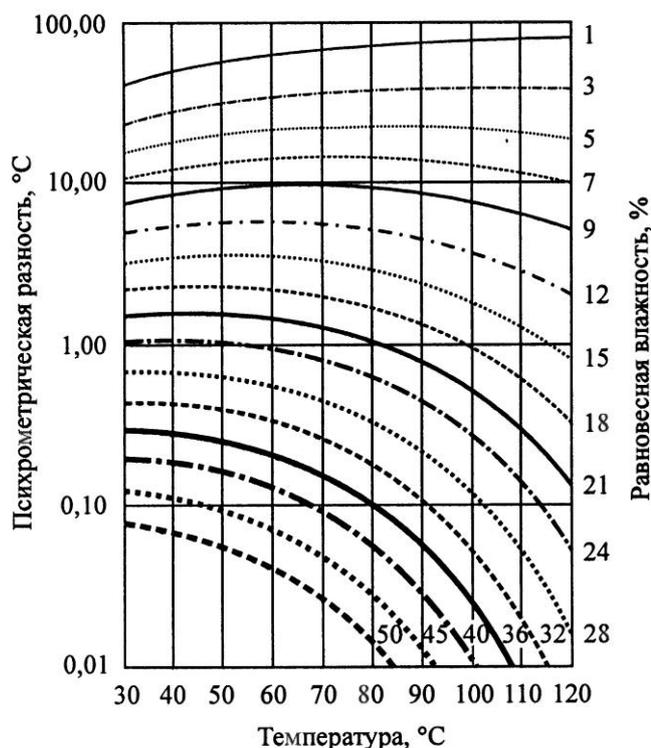


Рис. 2. Перевод графической интерпретации диаграммы равновесной лажности  $\phi_i(W_p)$  (тонкие линии) в аналитическую функцию  $\phi(W_p, t) = 100^{1-ab-W_p^c} \dots$ :  $b' - \phi_{t70}(W_p)$  – жирная линия; I –  $a(t) = 1,88 - 0,0025t$ ; II –  $b(t) = 1,44 - 0,0111t$ ;  $c(t) = 0,66 + 10^{-6} \cdot t^{2,6}$

Этап 3. Из равенства (1) и (2) выведено уравнение психрометрической разности сушильного агента  $\Delta t(W_p, t)$ , применимое во всех диапазонах относительной и равновесной влажности:

$$\Delta t(W_p, t) = \left[ \frac{(1,92 - 0,003t)^{1,43 - 0,01t - W_p^{0,66 + 10^{-6}t^{2,6}}}}{0,006 + 10^{-5}(120 - t)^{1,46}} \right]^{(1,074 + 10^{-17} \cdot (146 - t)^{7,77})^{-1}} \quad (3)$$

Рис. 3. Психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины  $\Delta t(W_p, t)$  (здесь ординаты  $\Delta t_{w1(t)} \dots \Delta t_{w50(t)}$  соответствуют кривым равновесной влажности древесины  $W_p = 1 \dots W_p = 50 \%$  как функции температуры  $t$ )



На основании этого уравнения построена полная психрометрическая диаграмма равновесной влажности  $\Delta t(W_p, t)$ , приведенная на рис. 3.

Полученная аналитическая зависимость (3) и психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины представляют собой теоретическую основу для расчета технологических режимов бездефектной сушки пиломатериалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кириянов, Д.В.* MathCAD -12 [Текст] / Д.В. Кириянов. – С.-Петербург: БХВ, 2005. – 566 с.
2. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов [Текст]. – Архангельск: ЦНИИМОД, 1985. – 144 с.
3. *Серговский, П.С.* Гидротермическая обработка и консервирование древесины [Текст] / П.С. Серговский, А.И. Рассев. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 510 с.

Поступила 25.06.09

*I.M. Merkushev*  
Moscow State Forest University

#### Psychrometric Diagram of Equilibrium Wood Humidity

The analytical dependence of psychrometric remainder between temperatures of the dry and wettable thermometers on the temperature of the drying agent and equilibrium wood humidity is received; the psychrometric diagram of equilibrium humidity as a basic tool for calculation of rational drying modes for sawn timber is built.

Keywords: psychrometric table, diagram of equilibrium humidity, congruent overlapping, analytical function, safe drying modes.

УДК 621.365.5

**В.И. Мелехов, И.И. Соловьев**

Архангельский государственный технический университет

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 Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН и АПК. Имеет более 250 работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования на основе новых технологий малоценной древесины и отходов деревообработки.

Тел.: (8182) 21-61-49



Соловьев Иван Иванович родился в 1964 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры ЭПП Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области подготовки дереворежущего инструмента в деревообрабатывающей промышленности.

Тел.: (8182) 21-89-36



## **СОЗДАНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПИЛЬНОМ ДИСКЕ КРУГЛОЙ ПИЛЫ**

Обоснована возможность использования устройств индукционного нагрева для создания нормированных напряжений в диске круглой пилы; показаны преимущества данного способа перед используемыми в деревообрабатывающей промышленности.

*Ключевые слова:* круглая пила, диск, термопластическое напряжение, индукционный нагрев.

В деревообрабатывающих отраслях промышленности основную часть оборудования составляют станки с круглопильными узлами резания. Режущим инструментом в них является круглая пила, которая определяет работоспособность станка и качество обработки материала. Диск пилы в процессе работы подвергается сложному воздействию силовых и температурных факторов и требует специальной подготовки.

Основные факторы, определяющие работоспособность круглой пилы, – напряженное состояние диска, потеря им устойчивости, колебания диска, неправильная подготовка и неточная установка инструмента на пильном валу станка. Влияние этих факторов приводит к тому, что до 30 % пил теряют работоспособность преждевременно.

В процессе работы круглые пилы воспринимают ряд разнообразных сложных нагрузок: от действия центробежных сил инерции, нагрева пильного диска о поверхность пропила, составляющих силы резания, касательных сил инерции, воздействующих на диск при пуске и быстрой остановке пилы. Эти нагрузки вызывают удлинение полотна пильного диска и напряжения, выводящие его из плоской формы упругого равновесия. Пильный диск может надежно работать только при условии сохранения устойчивого равновесия, которое достигается за счет создания разными методами нормированных напряжений в определенных зонах пильного диска.

Основными способами создания нормированных напряжений в пильном диске, применяемыми на практике, являются механическое локальное воздействие на полотно – классическая проковка-вальцевание пильного диска, и термопластическая обработка посредством нагрева контактными электронагревателями или с помощью роликовых шовных электросварочных машин.

Существуют также способы создания напряжений, основанные на использовании поверхностного пластического деформирования диска пилы. Это дробеструйная и пескоструйная обработка пильного диска, алмазное выглаживание, автофретирование, приложение давления по контуру посадочного отверстия, создание временных натяжений (нагрев через пильные фланцы, локальный нагрев участка диска и т.д.), создание комбинаций начальных и временных напряжений.

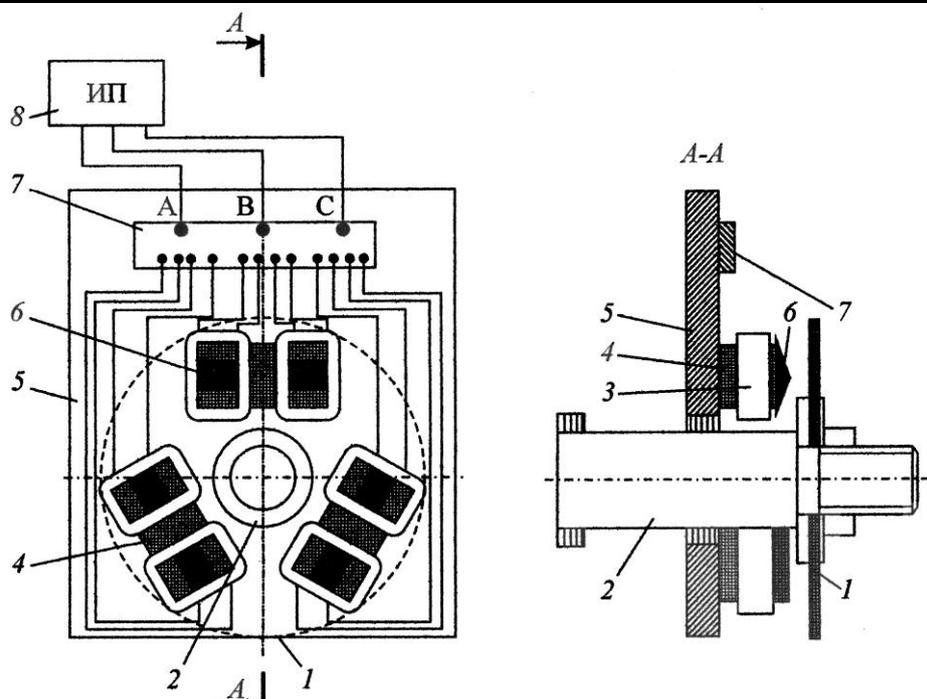
Термопластический способ натяжения основан на создании в диске путем нагрева неравномерных по радиусу температурных напряжений, превышающих предел упругости металла и приводящих к возникновению пластических деформаций, которые после отпуска диска обеспечивают возникновение в нем требуемых остаточных напряжений. Наиболее эффективны в применении способы термического воздействия при подготовке инструмента в специализированных региональных инструментальных центрах [1, 3, 4, 6].

Технология производства плоских круглых пил совмещает процессы отпуска полотна пильного диска после закалки и создания нормированных напряжений. Распространение получили следующие технологии отпуска: в пакетах и индивидуальный отпуск в электропрессах [4]. Последний предпочтительней, так как дает возможность нормировать остаточные напряжения в каждом пильном диске и позволяет контролировать процесс [4].

Индивидуальный отпуск принципиально можно осуществить несколькими способами: отпуск диска в электропрессе со сплошными нагревателями соответствующего диаметра и плитами с заданным законом изменения температуры по их радиусу; отпуск диска с последующим нагревом периферийной зоны (кольцевой нагрев); отпуск периферийной зоны с последующим равномерным отпуском всего диска [4].

В первом способе нагревание производится с возрастанием температуры от центра к периферии. Неравномерное распределение температур по радиусу плит электропресса создается соответствующим размещением и последовательным включением электрических нагревательных элементов. Для реализации второго и третьего способов применяют пресс с нагревателями кольцевой формы.

Необходимый эффект создания нормированных напряжений в диске круглой пилы может быть получен при кольцевом нагреве и без обжима диска в прессе за счет тепловой обработки участков диска на роликовой шовой сварочной машине [3] или нагрева газопламенными горелками [2]. Как показали исследования, такой нагрев периферийной зоны диска позволяет создавать в ней нормированные остаточные напряжения растяжения [3].



Экспериментальная установка для создания нормированных напряжений в пильном диске плоских круглых пил

В рассмотренных способах нагрева для создания термопластических напряжений в пильном диске применяют эффект контактной теплопередачи от нагревательного устройства к поверхности пилы. Это увеличивает время нагрева и не обеспечивает требуемый локальный нагрев по заданному тепловому следу.\* Локальный подвод тепла к кольцевому следу на диске пилы и быстрый нагрев может быть осуществлен индукционным способом. При этом энергия передается от индуктора к разогреваемой поверхности безконтактно, посредством электромагнитной волны. Такой способ передачи энергии фактически исключает потери и обладает высоким кпд. Индукционный нагрев широко применяется в промышленности для решения различных технологических задач [5], достаточно изучен и может быть применен, по нашему мнению, для локального нагрева участков полотна круглой пилы при создании нормированных напряжений.

К достоинствам индукционного нагрева можно отнести:

возможность равномерного прогрева поверхности диска по окружности заданного радиуса, с заданной шириной теплового следа и большой точностью путем изменения конфигурации полюсных наконечников индуктора;

\* Тепловой след – концентрическая окружность на диске, по которой производится прогрев.

изменение частоты тока в индукторе при одновременном контроле состояния поверхности пильного диска позволяет регулировать в широком диапазоне мощность потоков энергии, направляемых на нагрев участков диска, и управлять временными характеристиками процесса.

Многофазная система индукционного нагрева позволяет не только нагревать пильный диск, но и одновременно приводить его во вращение, что повышает равномерность распределения температуры поверхности пилы по заданному тепловому следу и обеспечивает создание нормированных напряжений в диске.

Для исследования процесса создания термопластических напряжений в дисках круглых пил индукционным нагревом разработана и создана экспериментальная установка (см. рисунок), состоящая из устройства индукционного нагрева и механизма для установки диска круглой пилы.

Круглая пила 1 устанавливается на валу 2 и приводится во вращение индуктором переменного тока 3. Полюса индуктора с магнитроводами 4 установлены на станине 5. Питание на индуктор подается от источника питания 8 через клеммную плату 7. Магнитный поток, созданный индуктором, замыкается по следующему пути: магнитопроводы полюсов – окружность заданного радиуса, проходящую по поверхности диска круглой пилы. Вызванные переменным магнитным потоком вихревые токи приводят к разогреву кольцевой зоны диска пилы с заданным радиусом и шириной следа. Ширина теплового следа может достигать 2...3 мм и определяется конфигурацией полюсных наконечников 6.

Экспериментальные исследования подтвердили эффективность теплового локального воздействия с помощью индукционного нагрева для создания нормированных напряжений в полотне круглой пилы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков, Е.М. Термический способ подготовки круглых пил к работе [Текст] / Е.М. Боровиков, Б.Ф. Орлов // Лесн. журн. – 1974. – № 6. – С. 90–96. – (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Врзал, В. Правка пламенем [Текст] / В. Врзал // Станки и инструмент. – 1957. – № 7.
3. Стахийев, Ю.М. Научно-технологические основы производства, подготовки и эксплуатации плоских круглых пил для распиловки древесины [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Стахийев Юрий Михайлович. – Архангельск, 2002. – 32 с.
4. Стахийев, Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахийев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 296 с.
5. Установки индукционного нагрева [Текст] / А.Е. Слуцкий [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 328 с.
6. Якунин, Н.К. Подготовка круглых пил к работе [Текст] / Н.К. Якунин. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 153 с.

Поступила 09.09.09

---

*V.I. Melekhov, I.I. Soloviev*  
Arkhangelsk State Technical University

### **Creation of Thermoplastic Tension in Circular Saw Blade**

The possibility of using the induction heating device is substantiated for creation of normalized tensions in the circular saw blade. The advantages of the given method are demonstrated over the ones applied in woodworking industry.

Keywords: circular blade, disk, thermoplastic tension, induction heating.

---

УДК 745.51

**М.М. Черных, В.В. Сергеева**

Ижевский государственный технический университет

Черных Михаил Михайлович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ижевский механический институт, доктор технических наук, декан факультета рекламы и дизайна, профессор кафедры технологии промышленной и художественной обработки материалов Ижевского государственного технического университета. Имеет 160 научных работ, в том числе по тематике деревообработки.  
Тел.: (3412) 59-96-82



Сергеева Вера Владимировна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. Ижевский государственный технический университет, аспирант, инженер кафедры технологии промышленной и художественной обработки материалов ИжГТУ. Имеет 6 научных работ в области деревообработки.  
E-mail: bazilevdkihvv@rambler.ru



### **ИМИТАЦИЯ СОСТАРЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ЗА СЧЕТ ОБРАБОТКИ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ ЩЕТОЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ**

Установлено влияние параметров инструмента и режимов обработки вращающимися щетками на эстетические свойства фактуры древесины различных пород.

*Ключевые слова:* имитация поверхности, состаренная древесина, эстетические свойства, обработка, вращающиеся щетки.

При обработке вращающимися щетками происходит неравномерное истирание поверхности древесины: в большей мере выбирается более мягкая ранняя древесина годичного слоя, в меньшей – более твердая поздняя. В результате этого на поверхности древесины образуется уникальный рельефный рисунок, имитирующий состаренную древесину. Текстурированную таким образом древесину успешно используют при изготовлении мебели, строительных элементов, вывесок, сувениров, предметов интерьера и др. [5, 6].

Применяемые в настоящее время альтернативные щеткам технологии имеют некоторые недостатки. Так, естественное старение не обеспечивает высоких эстетических свойств поверхности и весьма длительно, способ травления экологически не безопасен, а воздушно-абразивная обработка менее производительна и, кроме того, не пригодна для декорирования длинномерных строительных элементов и погонажных изделий из-за ограниченных размеров рабочей камеры воздушно-абразивных установок.

Использование на практике обработки поверхности древесины вращающимися щетками в целях имитации эффекта старения в значительной мере сдерживается отсутствием сведений об эстетических свойствах получаемой фактуры и влиянии на них технологических факторов.

Эстетическими свойствами фактуры древесины являются рельефность, блеск и рисунок [1, 2, 9]. По степени рельефности выделяют [9, 10]

две группы фактур ровную и рельефную, а в каждой группе – две подгруппы: гладкую и шероховатую. В работе [8] показано, что поверхность древесины в зависимости от породы и вида среза воспринимается рельефной при значениях параметра шероховатости  $Rm_{max} > 50 \dots 150$  мкм. Нами установлено, что эстетическая выразительность фактуры, получаемой обработкой щетками, достигается при  $Rm_{max} > 400$  мкм, поэтому фактуру текстурированной древесины можно отнести к рельефной группе.

Цель наших исследований – установить влияние породы древесины, материала щеток и режима резания на эстетические свойства поверхности древесины, обработанной щеточными инструментами.

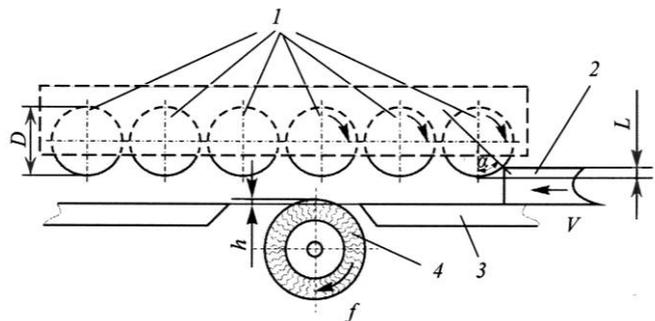
В качестве объектов исследования были выбраны следующие древесные породы: хвойные – сосна и ель; лиственные кольцесосудистые – дуб; лиственные рассеянососудистые – липа и береза. Влажность древесины в эксперименте – 8...12 % (комнатно-сухая). Для анализа влияния влажности также использовали древесину свежесрубленной сосны влажностью 71 %. Размеры образцов – 1000×100×20...40 мм. Шероховатость не превышала 100 мкм. Естественный рисунок на поверхностях образцов соответствовал тангенциальному и радиальному распилам. В качестве инструмента использованы щетки металлические и синтетические с полимер-абразивным и нейлоновым ворсом. Для формообразования рельефа (черновая обработка) применяли металлические щетки, для устранения микронеровностей на рельефе (чистовая обработка) – синтетические. Параметры щеток производства фирмы «Osborn» (Германия) представлены в таблице.

Материал ворса	Диаметр ворса $d$ , мм	Плотность набивки $P$ , ворс./см <sup>2</sup>	Вылет ворса, мм	Диаметр щетки $D$ , мм	Диаметр отверстия $d_{отв}$ , мм	Длина щетки $S$ , мм
Сталь	0,35	156,0 *	30	150	32	140
		57,0**	30			
	0,20	107,5	30			
	0,50	56,8	24			
Полимер-абразив	1,00	20,0	15			
Нейлон	0,60	61,2	32			

\* Далее по тексту – жесткая щетка.

\*\* Далее по тексту – мягкая щетка.

Рис. 1. Схема обработки заготовки: 1 – ролики автоподатчика; 2 – заготовка; 3 – рабочий стол; 4 – щетка



Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка на основе модернизированного деревообрабатывающего станка

КСМ, дополнительно оснащенного автоподатчиком STEFF 2068 (рабочая поверхность роликов которого покрыта слоем резины) и частотным преобразователем Toshiba VF-S11. Также был расширен рабочий стол и увеличено в нем отверстие под инструмент.

Схема обработки представлена на рис. 1, где  $h$  – выход щетки над плоскостью стола, мм;  $V$  – подача заготовки, м/мин;  $f$  – частота вращения инструмента, об/мин;  $\alpha$  – угол захвата заготовки валком автоподатчика, град;  $L$  – заглубление валков автоподатчика относительно верхней плоскости заготовки, мм.

Исследовали как макронеровности обработанной поверхности – глубину рельефа ( $Rm_{\max}$ ), так и микронеровности – шероховатость на рельефе ( $Rm'_{\max}$ ). Параметры  $Rm_{\max}$  и  $Rm'_{\max}$  определяли по стандартным методикам [3, 4]. Глубину рельефа измеряли индикаторным глубиномером ГИ-100, шероховатость – двойным микроскопом Линника МИС-11.

Поскольку из эстетических свойств фактуры инструментально можно определить только рельефность (отсутствуют методики инструментального определения блеска поверхностей со сложным рельефом и текстурой), эстетичность определяли путем визуального восприятия с использованием метода экспертных оценок, отмечая отчетливо выраженный рельеф, соответствующий текстурному рисунку древесины, слабо выраженный рельеф, а также наличие дефектов фактуры.

Установлено, что эстетическая выразительность рельефа зависит от породы древесины, а именно от соотношения плотностей поздней и ранней древесины годовичного слоя. Лучшие результаты получены для древесины сосны (рис. 2, а), имеющей соотношение плотностей 2,24, более низкие – для древесины дуба (рис. 2, б) с соотношением плотностей 1,40. На древесине березы, имеющей соотношение 1,10, рельеф, соответствующий текстурному рисунку тангенциального распила, не выражен (рис. 2, в). Поскольку наиболее высокие эстетические свойства при обработке щетками приобретает сосна, влияние инструмента и элементов режима резания изучали на этой породе древесины. Выявлено, что обработка влажной древесины ведет к появлению мшистости и ворсистости (рис. 2, г).

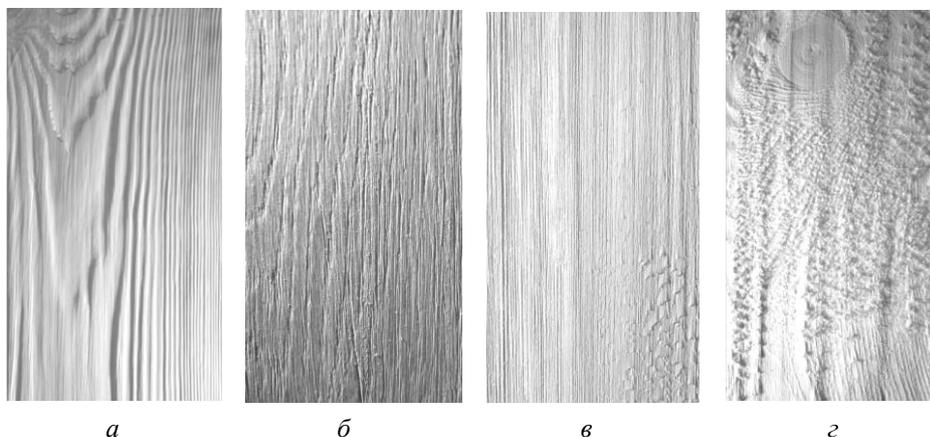


Рис. 2. Вид рельефного текстурного рисунка после обработки древесины щетками на тангенциальном срезе: а – сосна; б – дуб; в – береза; г – свежесрубленная сосна

Влияние выхода инструмента  $h$  представлено на рис. 3, а. С увеличением этого показателя глубина рельефа сначала возрастает, достигая наибольшей величины, дальнейшее увеличение  $h$  приводит к уменьшению глубины рельефа из-за истирания поздней древесины, образуются подпалины [7].

Наиболее высокие эстетические свойства рельефа с отчетливо выраженным текстурным рисунком соответствуют средней части линии 1, т.е. значениям  $h$ , изменяющимся в диапазоне от 0,7 до 1,3 мм. В начале кривой 1 (пунктирный участок) рельеф выражен слабо, а в конце (следующий пунктирный участок) рисунок текстуры нарушается из-за истирания (разрушения) поздней древесины и образования подпалин.

Характер зависимости глубины рельефа от величины выхода инструмента сохраняется независимо от жесткости металлической щетки (рис. 3, б). Установлено, что щетки с диаметром ворса 0,5 мм чрезмерно жесткие и не дают положительных результатов из-за истирания поздней древесины. Наиболее глубокий рельеф без дефектов получен при использовании мягких щеток. Наиболее высокие эстетические свойства древесины сосны, обработанной металлическими щетками, имеют место в диапазоне глубин рельефа от 400 до 1200 мкм.

Существенное влияние на глубину рельефа и его эстетическое восприятие оказывает скорость резания. Поскольку непосредственное измерение скорости резания затруднено из-за изгиба ворса щетки в процессе обработки, а наружный диаметр щеток был одинаковым, скорость резания оценивали опосредованно через частоту вращения инструмента  $f$ .

При частоте вращения щетки меньше 2200...2300 об/мин образующийся рельеф в недостаточной степени отображает текстуру древесины из-за малой его глубины (не превышающей 0,3 мм (рис. 3, в)), что связано с низкой кинетической энергией ворсинок щетки, недостаточной для интенсивного разрушения ранней древесины. С увеличением частоты вращения

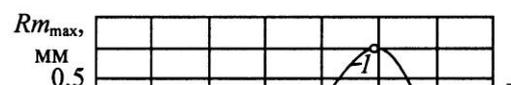
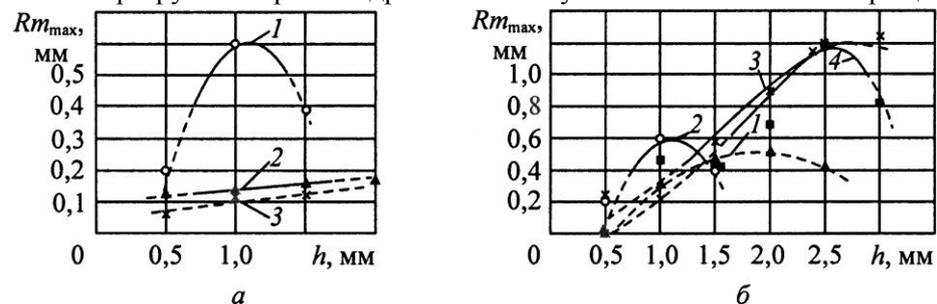


Рис. 3. Зависимость глубины рельефа  $Rm_{\max}$  от различных параметров металлической щетки:

а – от  $h$  ( $d = 0,35$  мм,  $P = 156$  ворс./см<sup>2</sup>) при  $f = 3450$  об/мин,  $V = 7,5$  м/мин,  $\alpha = 30^\circ$  для древесины сосны (1), дуба (2) и березы (3);

б – от  $h$ ,  $d$  и  $P$  для древесины сосны при  $f = 3450$  об/мин,  $\alpha = 30^\circ$ : 1 –  $d = 0,50$  мм; 2 –  $d = 0,35$  мм,  $P = 156$  ворс./см<sup>2</sup>; 3 –  $0,35$  мм,  $57$  ворс./см<sup>2</sup>; 4 –  $d = 0,20$  мм;

в – от  $f$  ( $d = 0,35$  мм,  $P = 156$  ворс./см<sup>2</sup>,  $h = 1$  мм,  $\alpha = 30^\circ$ ) для древесины сосны при  $V = 7,5$  м/мин (1) и  $3,6$  м/мин (2);

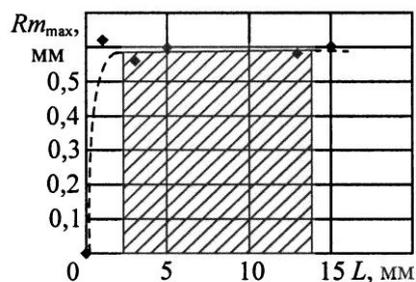
г – от  $V$  для древесины сосны при  $f = 3450$  об/мин,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $d = 0,20$  мм

до 2800...2900 об/мин глубина рельефа достигает 0,4 мм, и он становится различимым. Наиболее глубокий и выразительный текстурный рисунок рельефа образуется при 3400...3500 об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения ведет к разрушению поздней древесины, и при  $f = 4300...4400$  об/мин разрушается не только ранняя, но и поздняя древесина, а рельеф исчезает.

Следует отметить, что глубина рельефа зависит не только от частоты вращения инструмента, но и от подачи  $V$ . С увеличением подачи до определенного значения глубина рельефа возрастает, затем убывает (рис. 4, а). Получение текстурированной фактуры древесины с высокими эстетическими свойствами в диапазоне исследованных значений  $f$  (см. рис. 3, в) обеспечивалось при подаче  $V \geq 3$  м/мин.

Влияние угла захвата  $\alpha$  определяли косвенно. Угол захвата связан с заглублением  $L$  валков автоподатчика относительно верхней плоскости заготовки следующей зависимостью:

Рис. 4. Область допустимых значений (заштрихована)  $L$  (металлическая щетка,  $d = 0,35$  мм,  $P = 156$  ворс./см<sup>2</sup> и  $h = 1$  мм при  $f = 3450$  об/мин и  $V = 7,5$  м/мин; см. пояснения к рис. 3)



$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{2RL - L^2}}{R},$$

где  $R$  – радиус вала автоподатчика.

Установлено, что область значений фактора  $L$ , обеспечивающих качественную обработку, находится в диапазоне от 3 до 13 мм (рис. 4), а соответствующий диапазон изменения угла захвата автоподатчика составляет от 16 до 36° включительно. При  $L < 3$  мм обработка сопровождается истиранием поздней древесины, разрушением текстурного рисунка и подпалинами, при этом заготовка сдвигается в поперечном направлении из-за недостаточной силы прижима. При  $L > 13$  мм заготовка упирается в валок автоподатчика несмотря на то, что поверхностный резиновый слой вала упруго деформируется и для проталкивания заготовки требуется прикладывать дополнительную силу.

При чистовой обработке полимер-абразивной щеткой с увеличением выхода  $h$  шероховатость  $Rm'_{\max}$  значительно уменьшается. Шероховатость ранней древесины в 2–3 раза больше, чем поздней, причем при чистовой

вой обработке шероховатость ранней древесины уменьшается в большей степени, чем поздней. При  $h < 1,2 \dots 1,3$  мм рельефная поверхность визуально воспринимается шероховатой, при б $\downarrow$ льших значениях – гладкой с глянцевым блеском. Если  $h > 2,5$  мм, то образуются подпалины.

Чистовая обработка нейлоновой щеткой не дает положительных результатов, параметр  $Rm'_{\max}$  не уменьшается.

Таким образом, на эстетические свойства поверхности древесины, имитирующей состаренную путем обработки щетками, в первую очередь влияет порода древесины. Более высокие эстетические свойства достигаются на хвойных породах. Рельефность преимущественно зависит от режима резания при черновой обработке, а блеск – от материала щетки, используемой при чистовой обработке. Полученные результаты могут быть использованы при дизайн-проектировании изделий и разработке технологических процессов обработки поверхности древесины вращающимися щетками.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетов, Д.П. Архитектурное материаловедение [Текст]: учеб. для вузов / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1983. – 310 с.
2. Байер, В.Е. Архитектурное материаловедение [Текст]: учеб. для вузов / В.Е. Байер. – М.: Архитектура-С, 2005. – 264 с.
3. ГОСТ 7016 – 82. Древесина. Параметры шероховатости [Текст]. – Взамен ГОСТ 7016 – 75; введ. 1982–10–12. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
4. ГОСТ 15612 – 85. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности [Текст]. – Взамен ГОСТ 15612 – 78; введ. 1985-03-26. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.
5. Лукьянова, Н.Г. Возможность создания эффекта старения на поверхности изделий из древесины [Текст] / Н.Г. Лукьянова // Дизайн и производство мебели. – 2005. – №3. – С. 21–24.
6. Поярков, А.В. Дизайн текстурированных изделий из древесины [Текст] / А.В. Поярков, М.М. Черных // Дизайн. Материалы. Технология. – 2007. – № 2(3). – С. 59–62.
7. Сергеева, В.В. Дефекты поверхности древесины после обработки брашированием [Текст] / В.В. Сергеева // XIУ Междунар. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии»: сб. докл. – Томск, 2008. – Т.3. – С. 530–531.
8. Черных, М.М. Влияние высоты неровностей на восприятие рельефности фактуры древесины [Текст] / М.М. Черных, Т.В. Конягина // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 2(5). – С. 37–39.
9. Черных, М.М. Эстетика неровностей поверхности изделий в художественном материаловедении [Текст] / М.М. Черных, В.В. Сергеева // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – №1. – С. 22–25.
10. Шахнельдян Б.Н. Полиграфические материалы [Текст] : учеб. пособие / Б.Н. Шахнельдян, Л.А. Загаринская. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Книга, 1988. – 327 с.

Поступила 16.03.09

---

*M.M. Chernykh, V.V. Sergeeva*  
Izhevsk State Technical University

**Imitation of Aged Wood by Processing its Surface by Brush Tools**

The effect of tool parameters and processing modes of rotating brushes on the aesthetic properties of the wood texture of different species is established.

Keywords: surface imitation, aged wood, aesthetic properties, processing, rotating brushes.

---

УДК 681.31(058.8)

*О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.Т. Харитоненко*

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного  
морского технического университета

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета.

E-mail: oscar@mail.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 филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Харитоненко Владимир Терентьевич родился в 1950 г., окончил в 1974 г. Московский инженерно-физический институт, кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского сектора филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 10 научных работ в области автоматизации и управления.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



## **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В МУНИЦИПАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Проанализированы использование и эффективность использования древесных отходов в муниципальной энергетике Архангельской области; предложены пути повышения уровня их использования в качестве возобновляемых топливных ресурсов.

*Ключевые слова:* лесозаготовки, древесные отходы, дрова, лесосечные отходы, щеп, энергетический потенциал, уголь, топливо, котлы, котельные, эффективность.

Поиск новых источников энергии является одним из приоритетных направлений современных научных исследований. Особо выделяется проблема использования вторичных и возобновляемых ресурсов. Архангельская область при уникальности расположения и большом разнообразии природных богатств не обладает собственными запасами ископаемых топливных ресурсов. Все необходимое топливо (мазут, газ, каменный уголь, дизельное топливо и бензин) приходится завозить в область из других регионов России. Однако область богата лесом. В результате заготовки и переработки древесины образуется большое количество древесных отходов, которые представляют из себя вторичные возобновляемые источники энергии.

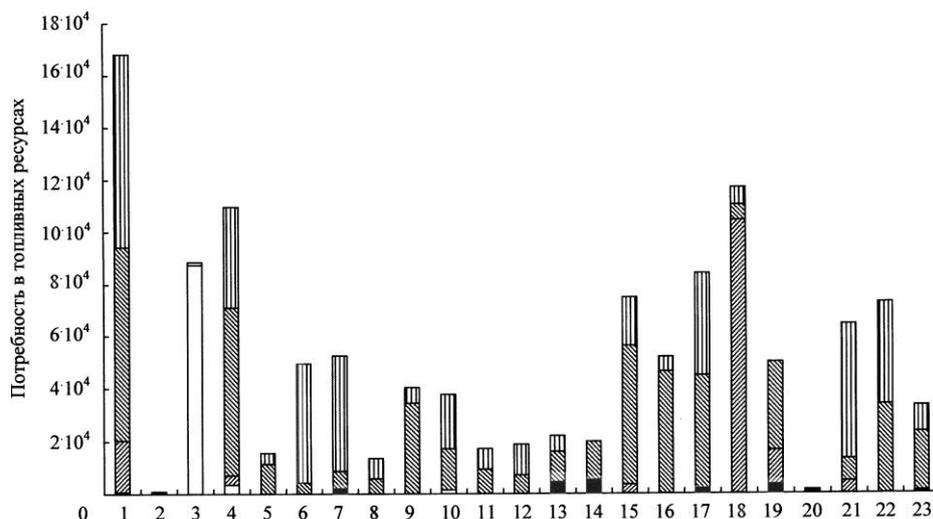


Рис. 1. Потребность муниципальных образований Архангельской области (1 – г. Архангельск, 2 – г. Северодвинск, 3 – г. Котлас, 4 – Вельский р-н, 5 – Вилегодский р-н, 6 – Виноградовский р-н, 7 – Вехнетоемский р-н, 8 – Каргопольский р-н, 9 – Коношский р-н, 10 – Котласский р-н, 11 – Красноборский р-н, 12 – Ленский р-н, 13 – Лешуконский р-н, 14 – Мезенский р-н, 15 – Няндомский р-н, 16 – г. Онега и Онежский р-н, 17 – Пнежский р-н, 18 – Плесецкий р-н, 19 – Приморский р-н, 20 – Соловецкий р-н, 21 – Устьянский р-н, 22 – Холмогорский р-н, 23 – Шенкурский р-н): в топливных ресурсах: □ – газ, 1000 м<sup>3</sup>; ■ – дизельное топливо, т/год; ▨ – мазут, т/год; ▩ – уголь, т/год; ▮ – дрова, м<sup>3</sup>

Цель настоящего исследования – проанализировать использование энергетического потенциала древесных отходов в муниципальной энергетике Архангельской области.

Согласно статистическим данным\*, общее среднегодовое производство и отпуск тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения в муниципальной энергетике Архангельской области составляет примерно 3371,6 Ткал, на что расходуется 750,95 тыс. т условного первичного топлива. В качестве первичных энергетических ресурсов в муниципальной энергетике применяются следующие виды топлива: газ, дизельное топливо, мазут, каменный уголь и древесина в виде опилка, щепы и дров. По данным департамента ЖКХ и энергетики администрации Архангельской области на долю каменного угля приходится 42,6 % от общего потребления первичных топливных ресурсов, мазута – 27,1 %, природного газа – 14,1 %, дизельного топлива – около 0,6 %, древесных отходов и дров – 15,6 %.

В области имеется 773 отопительных котельных суммарной мощностью свыше 1561 Гкал/ч. Из этого количества на 18 самых крупных было

\* В работе использованы доступные статистические данные из отечественных и зарубежных источников.

произведено 47 % от общего количества отпущенной тепловой энергии. Из этого количества 16 % (4 котельные) работают на газе, 20 % (10 котельных) – на мазуте, 9 % (5 котельных) – на угле, 2 % (1 котельная) – на древесных опилках.

На рис. 1 представлена потребность в топливных ресурсах муниципальной энергетики Архангельской области (в натуральном исчислении).

Из данных департамента топливно-энергетического комплекса в ЖКХ Архангельской области следует, что в натуральном выражении в муниципальной энергетике области в качестве первичного топливного ресурса ежегодно используется около 517 560 пл. м<sup>3</sup> древесных отходов и дров. Наибольшее количество древесного топлива используют в Архангельске, Виноградовском и Устьянском районах. В Котласе, Приморском, Мезенском и Соловецком районах древесина для производства тепла не применяется.

Энергия древесного топлива используется в основном только для производства тепла. Лишь в п. Октябрьском Устьянского района на котельной ЗАО «Устьялес», работающей на древесных отходах, осуществляется когерентная выработка электроэнергии и тепла.

В связи с газификацией Архангельской области для оценки дальнейших перспектив использования древесных отходов в муниципальной энергетике из анализа следует исключить котельные, которые либо уже работают на природном газе, либо в ближайшем будущем будут переведены на сжигание природного газа. В этом случае в рассмотрение попадает 737 котельных, на которых установлено 2068 котлов. Из этого количества 4 котельных работают на дизельном топливе, 6 – на мазуте, 317 – на дровах и древесных отходах, 410 – на каменном угле. Они вырабатывают 2316,86 Ткал/год тепловой энергии для нужд отопления и горячего водоснабжения, на что расходуется 470,97 тыс. т у.т./год первичных топливных ресурсов. При этом на долю дизельного топлива приходится около 1,0 % (23,17 Ткал/год) от общего количества тепловой энергии, выработанной на этих котельных, мазута – около 6,2 % (142,71 Ткал/год), дров и древесных отходов – 24,8 % (575,5 Ткал/год), каменного угля – 68 % (1575,46 Ткал/год).

Потребность этих котельных в первичных топливных ресурсах по муниципальным образованиям Архангельской области представлена на рис. 2.

Из приведенного выше видно, что наибольшее количество тепловой энергии вырабатывается на муниципальных котельных, использующих в качестве первичного источника энергии каменный уголь и дрова. В связи с этим было проведено сопоставление количества отопительных котельных, сжигающих каменный уголь и дрова, в зависимости от тепловой мощности котельных. Данные этого сопоставления представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3, среди котельных малой мощности преобладают использующие в качестве топлива дрова. По мере увеличения тепловой мощности уже преобладают котельные, работающие на каменном угле. При этом средняя тепловая мощность котельных, использующих как дрова, так и каменный уголь, в каждом диапазоне мощностей отличается незначительно. Разница становится заметной лишь при мощностях, превышающих 5 Гкал/котельную.

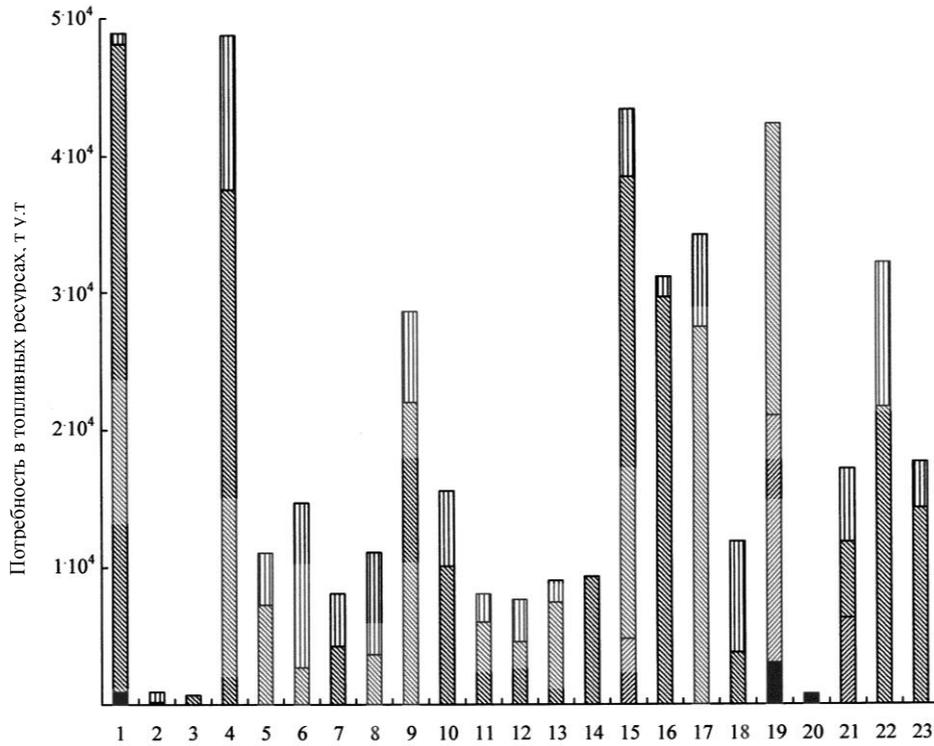
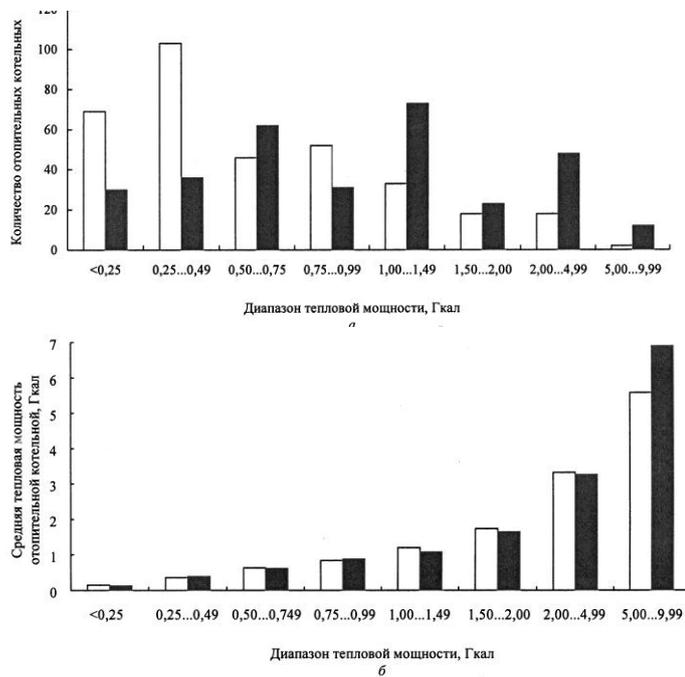


Рис. 2. Среднегодовая потребность муниципальных образований Архангельской области в первичных топливных ресурсах (см. обозначения на рис. 1)

Рис. 3. Распределение (количественное (а) и по средней тепловой мощности (б)) отопительных котельных по виду сжигаемого топлива в заданном диапазоне тепловой мощности: □ – дрова; ■ – уголь



Среднегодовое производство тепловой энергии на каменном угле в Архангельской области составляет около 13 448,14 Ткал/год. При вышеуказанном расходе топлива это означает, что средний коэффициент полезного действия водогрейных котельных на каменном угле около 60 % (низкий коэффициент).

Среднегодовое производство тепловой энергии на древесном топливе в Архангельской области составляет около 571,55 Ткал/год. На эти цели ежегодно расходуется примерно 517 560 пл. м<sup>3</sup> древесного топлива (эквивалентно 1 035 Ткал/год). Это означает, что средний коэффициент полезного действия водогрейных котельных на дровах и древесных отходах 55 %. Из 317 котельных, работающих на древесном топливе, только 5 крупных котельных используют древесное топливо в виде щепы и опилка и имеют коэффициент полезного действия около 80 %. Остальные котельные используют дрова. Следует учесть, что большинство котельных малой мощности в 90-х годах прошлого века вынужденно переведены на сжигание дров вместо каменного угля, т.е. сжигание древесного топлива осуществляют в котлах, не приспособленных под его сжигание, что ведет к снижению эффективности котлов. В целом КПД котельных при получении тепловой энергии из древесины не превышает 45 %, что является очень низким.

Получение тепловой энергии за счет сжигания древесного топлива в виде дров является наименее эффективным из существующих способов сжигания. Положение усугубляется тем, что большинство отопительных котельных (особенно малой тепловой мощности) в Архангельской области используют старую малоэффективную котельную технику («Универсал», ВНИИСТУ, КВ и др.), которая не может быть модернизирована за разумную стоимость. Кроме того, каждая котельная имеет несколько отопительных котлов, суммарная тепловая мощность которых значительно превышает требуемую тепловую мощность, что снижает уровень использования установленного оборудования.

В целом из потребных для этих котельных топливных ресурсов в объеме 453 042 т у.т./год на долю дров приходится 90 067 т у.т./год, или около 22 %, что является довольно высоким показателем. Однако в большинстве случаев переход на столь широкое использование древесного топлива в малых котельных был, как уже отмечалось выше, вынужденной мерой в связи с резким ростом цен на привозное фосфорное топливо. Эффективность же использования древесного топлива низка из-за 100 %-й ручной работы кочегаров. При этом оценка энергетического потенциала древесных отходов, образующихся при существующем уровне лесозаготовок и переработки древесины в Архангельской области, показывает, что он составляет около 8 400 Ткал/год. Это в несколько раз превышает потребности всей муниципальной энергетики области в первичных топливных ресурсах.

#### *Выводы*

1. В Архангельской области сравнительно высок уровень использования древесных отходов в муниципальной энергетике. При этом область

имеет значительные резервы для существенного увеличения уровня использования местного экологически безопасного древесного топлива как первичного топливного ресурса и повышения своей энергетической безопасности. Однако дальнейшее повышение уровня использования древесного топлива в муниципальной энергетике ограничивается возможностями установленного на котельных оборудования.

2. Основное потребление древесного топлива, в основном виде дров, приходится на малые отопительные котельные тепловой мощностью до 1 Гкал/ч. Данный способ использования древесного топлива в муниципальной энергетике малоэффективен и не поддается автоматизации. Существующее на отопительных котельных котельное оборудование не позволяет производить экономически оправданную модернизацию (автоматизацию процессов горения и эффективности использования древесного топливного ресурса).

3. Дальнейшее повышение уровня и эффективности использования древесного топлива можно добиться двумя путями: реконструкцией существующих котельных (в том числе и работающих на дровах) с установкой современного котельного оборудования для сжигания древесных отходов в виде щепы; организацией производства из древесных отходов высококачественного топлива в виде древесных гранул (пеллет) с последующей реконструкцией или заменой котельного оборудования для его сжигания.

Поступила 25.05.09

*O.D. Muller, V.I. Malygin, V.T. Kharitonenko*

«Sevmashvtuz», Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

### **Analysis of Wood Wastes Use in Municipal Heating of Arkhangelsk Region**

The efficiency of wood wastes use in the municipal heating of the Arkhangelsk region is analyzed. The ways of increasing the level of wood wastes use as renewable fuel resources are determined.

Keywords: forest-harvesting, wood wastes, firewood, logging waste, chip, energy potential, coal, fuel, boilers, boiler houses, efficiency.

---

УДК 674.093

*Л.В. Алексеева*

Архангельский государственный технический университет

Алексеева Людмила Васильевна родилась в 1960 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности технологических процессов и производств Архангельского государственного технического университета. Имеет около 100 научных трудов в области лесопиления.

Тел.: (8182) 41-28-44



### **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ НА БАЗЕ СМЕШАННОГО ТРЕХПОТОЧНОГО ЛЕСОПИЛЬНОГО ЦЕХА С МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОДАЧЕЙ СЫРЬЯ**

Разработана технология лесопиления на базе трех ленточнопильных станков небольшой производственной мощности; дана оценка применяемым схемам раскроя, использованию пиловочного сырья, организации производственного процесса.

*Ключевые слова:* технология, ленточнопильный станок, малое лесопиление, технологические решения.

По оценкам НИПИЭИлеспром на предприятиях России при значительной доле лесопильных рам используется 6 % фрезернопильного, 9 % круглопильного, 5 % ленточнопильного оборудования. Их удельный вес в общем объеме постоянно возрастает.

Эффективность организации участков производства пиломатериалов на базе оборудования различного вида определяется рядом факторов, которые можно объединить в следующие группы: относящиеся к сырью, к пилопродукции и эксплуатационные. Необходимость переработки пиловочного сырья широкого диапазона размерно-качественных характеристик объясняется высоким спросом на него, невозможностью постоянного обеспечения требуемой спецификации и соблюдения положений специализации производства по сырью, пиломатериалам и др.

В условиях рыночного ведения хозяйства фактор пилопродукции не является постоянным. К группе эксплуатационных следует отнести требуемый уровень производительности, заданные количественные и объемно-качественные показатели и др. Смешанные многопоточные технологические процессы обеспечивают возможность более гибкого временного построения производства с учетом имеющихся сырьевых ресурсов и требуемых показателей лесопильных предприятий.

Цель нашей работы – предложить проектные технологические решения для организации лесопильного цеха на ООО «Северная лесопромышленная компания» (г. Переславль-Залесский Ярославской области).

Согласно действующим нормативным документам приемка бревен осуществляется при геометрическом обмере сырья в вагонах. Разгрузка вагонов производится с помощью консольно-козлового крана в соответствии с временными нормами оборота подвижного состава и объемами поставленного сырья.

На основании норм технологического проектирования вместимость склада несортированного сырья позволяет сконцентрировать до 4 тыс. м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов (двухнедельный запас). При хранении сортированных бревен площадь склада обеспечивает недельный запас бревен объемом до 3 тыс. м<sup>3</sup> сырья.

Групповая сортировка сырья производится на полумеханизированной линии собственного изготовления. Пачки бревен загружаются на приемный участок линии сортировки краном. Неокоренные бревна поштучно подаются разобшителем бревен (или с эстакады вручную) на цепной конвейер и транспортируются в продольном направлении. Распределение бревен по сортам: I-II – 90,0 %, III – до 10,0 %; по группам диаметров: средние (14...24 см) – 86,2 %; крупные (26 см и выше) – 13,8 %. Длины поставляемых бревен – 4 и 6 м. Градация длин бревен – 0,3 м. Участок окорки – отдельностоящий, оборудован двумя окорочными станками с попеременной загрузкой.

В состав линии входит кабина оператора и измерительное устройство. При прохождении бревен через участок оценки геометрических параметров их сканируемые размеры посредством системы управления и адресации передаются на пульт оператора, а на табло инициализируется соответствующий диаметр вершинного торца бревна. Работа устройства осуществляется в полуавтоматическом режиме, что позволяет после визуального осмотра бревна оператором изменить регистрируемые параметры в пределах длины участка и зафиксировать не только его параметры, но и объем. Дробность сортировки – групповая. Точность подборки бревен по диаметрам +1,0 см; точность распределения по четным диаметрам +2,0 см. По мере заполнения карманов-накопителей краном или автопогрузчиком ЛТ-162 (выполнен на базе трактора К-700) с челюстным захватом пачки бревен либо отвозятся на участок рассортированного сырья, где укладываются в штабеля, либо подаются на переработку. Производительность линии примерно 10 бр./мин или около 100 м<sup>3</sup>/ч при среднем диаметре бревна в вершинном торце 18 см. При сортировании бревен всего диапазона диаметров и среднем коэффициенте использования 0,6 она обеспечивает получение 60 м<sup>3</sup> рассортированных бревен в час, что позволяет иметь сменный запас объемом 450 м<sup>3</sup> и выполнять месячную производственную программу по распилу в 10 тыс. м<sup>3</sup>. Согласно спецификации, потребный объем рассортированного сырья для переработки его на фрезерно-брусующей линии составляет 5 тыс. м<sup>3</sup>/мес. (22 рабочих дня при односменном режиме работы). Для этого объема предусмотрено на линии не менее 3 карманов-накопителей для бревен диаметром в вершинном торце 14...18 см с общим количеством до 160...180 бр./ч.

Подачу бревен в лесопильный цех осуществляют по мере необходимости с помощью автопогрузчика. Бревна пачками загружают в приемные емкости трех разобщителей бревен ЛТ-80, установленных на каждом лесопильном потоке.

Лесопильный цех имеет три потока: первый – на базе фрезерно-брусующей линии, в состав которой входят фрезерно-брусующий станок (ФБС) и многопильный круглопильный станок (МКС) для развала бруса; второй – на базе круглопильного станка (КС) и многопильного круглопильного станка, обслуживающего и третий поток; третий – на базе спаренного ленточнопильного станка (ЛПС). Производственная мощность – 120 тыс. м<sup>3</sup> сырья в год. Цех предназначен для распиловки елового пиловочника диаметром в вершинном торце 14...32 см и более.

Распределение пиловочника по потокам следующее. Поток на базе фрезернобрусующего и многопильного станков: диапазон диаметров перерабатываемых на первом потоке бревен – 14...18 см; их объем – 59,52 тыс. м<sup>3</sup> (49,6 %); на втором и третьем потоках – соответственно 20...32 см и выше и 60,48 тыс. м<sup>3</sup> (50,4 %). Первый поток на базе ФБС специализируется на распиловке тонкомерного сырья. Двухкантный брус, сформированный на первом проходе, поступает к многопильному станку. Полученные в процессе распиловки боковые доски и горбыли системой конвейеров подаются к позиционным торцовочным станкам, где осуществляют предварительную торцовку в целях удаления обзолных концов досок. Сформированные до заданных размеров пиломатериалы выносятся на участок сортирования по сечениям. Распределение объемов пиломатериалов на базе ФБС и МКС (первый поток) следующее: 47,3 % или 28,15 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе экспортные по ГОСТ 26002 – 35,5 % или 21,13 тыс. м<sup>3</sup>; отпад от экспорта по ГОСТ 8486 – 11,8 % или 7,02 тыс. м<sup>3</sup>. Второй поток на базе круглопильного станка предназначен для переработки бревен средних диаметров в вершинном торце (20...24 см) ориентировочным объемом 43,9 тыс. м<sup>3</sup>/год. Способ распиловки – брусово-развальный, 100 %-я брусовка. На первом проходе при формировании двухкантного бруса вырабатываются 4 необрезные доски. Доски отделяются, подаются к участку торцовки и выносятся на сортплощадку. Полученный двухкантный брус перемещается к МКС, также обслуживающему и поток на базе головного ленточнопильного станка.

В лесопильном цехе вырабатываются пиломатериалы шириной 100...250 мм двух толщин: тонкие – 22 мм, толстые – 44, 50, 63, 75 мм. Торцовка тонких досок – предварительная, предназначена для отрезки обзолных концов. Толстые доски не торцуются. Количество одновременно вырабатываемых сечений досок – по 6 для толстых и тонких. Дробность сортировки тонких досок: по сечениям и на две группы по качеству (экспортные и отпад от экспорта); толстых – только по сечениям. Потребное количество сортировочных мест с учетом резерва: для тонких досок – 13; для толстых – 12.

Третий поток на базе ЛПС предназначен для переработки бревен диаметром от 26 см в вершинном торце общим ориентировочным объемом

16,5 тыс. м<sup>3</sup>/год. Поток предназначен для применения индивидуальных схем раскря бревен с производством на первом проходе боковых досок и бруса. Доски от головного ленточнопильного станка передаются к участку торцовки, а затем – на сортирование. Брусья от второго и третьего потоков распиливаются на многопильном круглопильном станке и выносятся на сортплощадку. Горбыли, торцовые и мягкие отходы системой транспортеров удаляются из цеха и поступают в бункер. По мере накопления их утилизируют в котельной или используются для других нужд. Потоки на базе КС и ЛПС (второй и третий потоки) обеспечивают выработку 56,1 % или 33,93 тыс. м<sup>3</sup> пиломатериалов, в том числе по ГОСТ 26002 – 41,2 % или 24,9 тыс. м<sup>3</sup>, по ГОСТ 8486 – 14,9 % или 29,01 тыс. м<sup>3</sup>.

Сортировочная площадка одноэтажная однопоточная. Поступающие из лесопильного цеха доски подаются на поперечный цепной конвейер, при продольном перемещении по которому вручную укладываются на подступные места в зависимости от сечений и групп качества в виде транспортных пакетов. Участок сортировки располагается вплотную к продольной стене здания цеха на внутренней стороне промплощадки и оборудуется навесом. По мере формирования пакеты отвозят автолесовозом или вилочным погрузчиком на участок формирования сушильных пакетов, который предназначен для ручной укладки речных пакетов и формирования сушильных штабелей.

Участок сушки проектируется и изготавливается вновь. Сушильные камеры периодического действия, относящиеся к нестандартизированному оборудованию, располагаются в здании лесопильного цеха. Штабеля по мере высушивания пиломатериалов по заданным режимам транспортируются на участок окончательной обработки, где осуществляется формирование готовых пакетов. Пиломатериалы экспортного назначения хранятся в специальном складе, а при его отсутствии – под индивидуальными укрытиями. Отгрузку пиломатериалов осуществляют согласно договорам требуемыми накопленными объемами. Для пропитки пиломатериалов оборудуется участок антисептирования.

Содержание и выполнение операций регламентируется установленными нормами, правилами, технологическими требованиями, условиями, операционными картами и другими методическими разработками. Рекомендуемые показатели производства, оборудованного потоком на базе ФБС и МКС и потоком на базе МЛК, могут быть использованы при организации других лесопильных предприятий.

Поступила 24.06.09

*L.V. Alexeeva*  
Arkhangelsk State Technical University

**Technology of Sawn Timber Production Based on Mixed Three-flow Sawmill Plant with Mechanized Feed of Raw Material**

---

The sawmilling technology is developed on the basis of three band-saw machines of small production capacity. The applied cutting schemes, the use of sawn material and management of the production process are assessed.

Keywords: technology, band-saw machine, small sawmilling, technological solutions.

---

УДК 681.31 (075.8)

**В.И. Малыгин<sup>1</sup>, Л.В. Кремлева<sup>1</sup>, В.Т. Харитonenko<sup>1</sup>, И.Л. Вареников<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета

<sup>2</sup>ФГУП ПО «Севмаш»

Кремлева Людмила Викторовна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, зав. кафедрой автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 50 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании и автоматизации проектирования средств технологического оснащения.  
E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Вареников Игорь Леонидович родился в 1959 г., окончил в 1984 г. Севмашвтуз, начальник конструкторско-технологического отдела модельного производства ФГУП ПО «Севмаш». Область научных интересов – комплексная автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства, организация и управление технологическими процессами и производствами.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МОДЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА МЕТОДОЛОГИЮ АВТОМАТИЗАЦИИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ**

Определена специфика деревомоделного производства; выполнен анализ производственной трудоемкости технологического процесса (ТП) изготовления деревянного модельного комплекта; обобщен и представлен в виде функциональной модели маршрут изготовления модельного комплекта; выделен состав основных технологических операций на основе функциональной декомпозиции ТП; намечены пути совершенствования конструкторско-технологической подготовки производства на основе сквозных методов автоматизированного проектирования.

*Ключевые слова:* модельный комплект, модельная древесина, технологический процесс, функциональная модель, производственная трудоемкость, автоматизация, конструкторско-технологическая подготовка производства.

Современные рыночные условия заставляют промышленные предприятия искать пути повышения эффективности производства, качества и надежности выпускаемой продукции, снижения затрат на разработку изделий, технологическую подготовку и планирование. Многие показатели качества закладываются на ранних этапах создания выпускаемой продукции, поэтому стоит остро проблема повышения эффективности проектной деятельности. Современные судостроительные предприятия имеют высокотехнологичные заготовительные производства, важнейшими из которых являются литейные цеха.

Основным материалом, из которого изготавливается формообразующая оснастка для мелкосерийных литейных производств, служит древесина. Деревянные модельные комплекты должны обеспечивать получение отливок с необходимыми показателями качества при оптимальных затратах на их изготовление.

Цель данной работы – снижение трудоемкости и повышение качества конструкторско-технологической подготовки модельного производства.

Деревообрабатывающее модельное производство является специфическим, поскольку фактически в одном цехе сосредоточены основные этапы жизненного цикла комплекта: конструкторско-технологические разработки – изготовление – хранение – ремонт – утилизация. В условиях единичного и мелкосерийного производства номенклатура изделий, как правило, велика и достаточно разнородна. Вследствие этого производство непрерывно находится в стадии технологической подготовки к выпуску очередного изделия. Следует отметить, что для получения отливки каждой новой детали конструируется и изготавливается новый модельный комплект. В связи с тем, что объем разрабатываемых конструкций и технологических процессов велик, проектирование зачастую ограничивается обобщенным эскизным маршрутным описанием.

Как объект проектирования, деревянный модельный комплект представляет из себя многокомпонентное изделие, каждый элемент которого конструктивно и функционально отличен от другого, и в свою очередь является сборной конструкцией (рис. 1).

Состав такого комплекта, размерно-точностные характеристики отдельных элементов (величина и распределение литейных припусков, количество стержней, прибылей, структура литниковой системы) определяет литейный технолог на основании чертежа детали. Конструкцию составных частей модельного комплекта, технологию их изготовления проектирует модельный технолог по чертежу отливки с нанесенной на нем литейной технологией. В его обязанности входит также материально-техническое нормирование производства. Концентрация задач конструкторской и технологической подготовки обуславливает необходимость внедрения сквозных методов автоматизации конструкторско-технологического проектирования, которые наиболее эффективно позволяют решать задачи оперативного планирования и управления с учетом технологических ограничений, накладываемых сложившейся организационной структурой модельного цеха.



Рис. 1. Обобщенный состав модельного комплекта

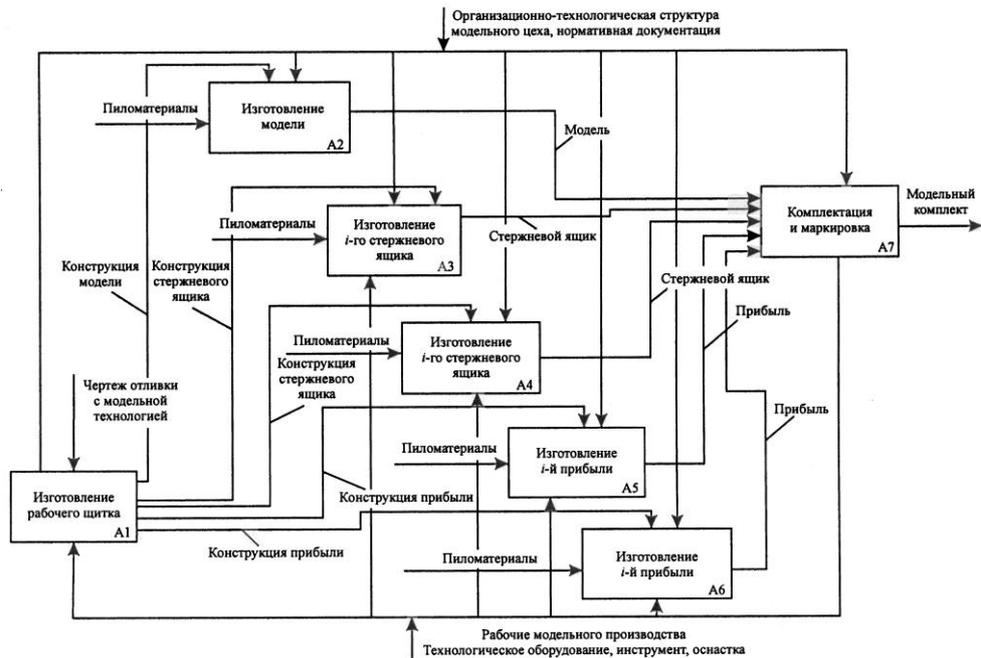


Рис. 2. Функциональная модель технологического процесса изготовления модельного комплекта

Анализ процессов изготовления модельных комплектов в условиях деревообрабатывающего производства ФГУП ПО «Севмаш» на основе функциональной декомпозиции технологических маршрутов показал, что особенностью рассматриваемых процессов является то, что каждому из элементов, изображенных на рис. 1, соответствуют индивидуальные технологические процессы изготовления, протекающие, как правило, в последовательно-параллельном режиме (рис. 2).

Существующая система нормирования производственной трудоемкости изготовления деревянных модельных комплектов на рассматриваемом производстве построена в соответствии с технологической декомпозицией (рис. 3), основанной на специализации рабочих участков по типу используемого оборудования, инструмента и оснастки. Под станочными работами понимаются заготовительные операции, связанные с раскроем пиловочного сырья (модельной древесины) и подготовкой основных поверхностей кроя для получения заготовок, под токарно-фрезерными – основные чистовые операции механической обработки формообразующих поверхностей элементов модельного комплекта, осуществляемые с помощью универсального оборудования и оснастки. Содержание модельных операций достаточно разнообразно и включает в себя вычерчивание проекций элементов модельного комплекта в натуральную величину (плазовые работы) и их разбиение

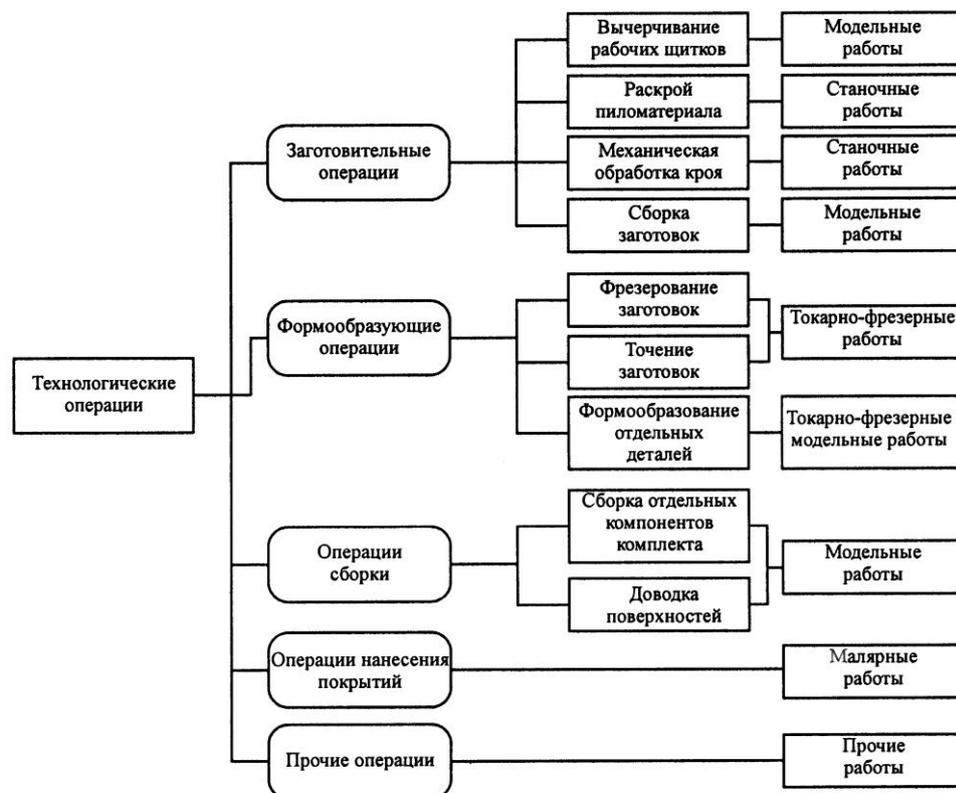


Рис. 3. Функциональная декомпозиция технологического процесса изготовления модельного комплекта, основанная на специализации рабочих мест

на заготовки, изготовление контрольно-измерительных шаблонов, сплачивание заготовок после раскроя, сборку моделей, доводку и контроль поверхностей, комплектацию и другие, как правило, ручные маломеханизированные операции. Модельные, станочные и токарно-фрезерные операции относятся к основным формообразующим технологическим операциям, которые связаны с превращением сырья в готовое изделие. Кроме вышеуказанных операций, обязательными являются малярные работы (окраска комплектов) и вспомогательные операции, связанные с транспортировкой сырья и/или полуфабрикатов, обслуживанием оборудования и оснастки.

Анализ производственной трудоемкости изготовления модельных комплектов производился на основе результатов выполнения годовых программ производства (выборочно по 4 годам) с использованием ежемесячных отчетов по техническому нормированию, бригадных планов-отчетов и карточек технического нормирования на отдельные работы (рис. 3). В табл. 1, 2 представлены усредненные годовые технико-экономические показатели, полученные в результате анализа.

Таблица 1

**Среднегодовая производственная трудоемкость изготовления  
деревянных модельных комплектов**

Операции	Средняя трудоем- кость, нормо-ч/год	Среднеквадратичное отклонение	Коэффициент вариации
Модельные	43 356,50	5 681,6	0,13
Станочные	5 183,30	630,4	0,12
Токарно-фрезерные	27 671,30	3 716,7	0,13
Малярные	3 012,50	353,2	0,12
Прочие	29 379,75	5 811,6	0,19
Итого	108 603,30	15 573,0	0,14

Таблица 2

**Производные технико-экономические показатели деревообрабатывающего  
модельного производства**

Показатель	Среднегодовое значение показателя	Среднеквадра- тичное отклонение	Коэффи- циент вариации
Трудоемкость технологических операций формообразования, нормо-ч/год	72 211	9 967	0,13
Средний расход модельной древесины, м <sup>3</sup> /год	1 836	406	0,22
Трудоемкость операций формообразования модельной древесины, нормо-ч/м <sup>3</sup>	42,30	5,19	0,13

Примечание. Под технологическими операциями формообразования понимаются работы, непосредственно связанные с изменением формы и размеров материалов и заготовок (модельные, станочные и токарно-фрезерные операции).

Из табл. 1 видно, что трудоемкость обработки 1 м<sup>3</sup> модельной древесины составляет в среднем 42 ч. Следует также отметить, что 87 % стоимости всех материалов (в том числе фанеры, лако-красочных материалов, крепежа и др.), идущих на изготовление модельных комплектов, приходится на стоимость модельной древесины.

Данные по структуре производственной трудоемкости изготовления модельных комплектов приведены на рис. 4, откуда следует, что наиболее трудоемкими являются модельные и станочные операции. Значительная доля времени рабочего-модельщика связана с выполнением работ по изготовлению рабочих щитков для определения необходимого количества пиломатериалов, планов раскроя и схемы сплачивания кроя в заготовки (щиты, кольца, коробки и др.), ручными операциями сборки, доводки и контроля поверхностей. Значителен объем станочных работ (черновых операций) на операциях раскроя и строгания пиломатериалов перед сплачиванием их в заготовки.

Данные, представленные в табл. 1, являются интегральными показателями, определяющими общую структуру трудоемкости изготовления модельных комплектов. Для оценки трудоемкости конкретных изделий были проанализированы 19 комплектов для отливок разной группы сложности. На рис. 5 представлена зависимость общей трудоемкости изготовления комплекта в зависимости от массы отливки. Коэффициенты корреляции между показателями трудоемкости по отдельным видам работ и массой отливки составили от 0,49 до 0,68.

Приведенный на рис. 5 график свидетельствует, что зависимость трудоемкости изготовления модельного комплекта от массы отливок не линейна, поскольку трудоемкость определяется еще составом комплекта, а также сложностью и технологичностью отдельных его элементов.

Снижение затрат и повышение эффективности производства в настоящее время связывают с автоматизацией его конструкторско-технологической подготовки, основными задачами которой в условиях мелкосерийного деревообрабатывающего производства являются:

разработка вариантов конструкций элементов модельного комплекта и отработка их на технологичность;

разработка маршрутно-операционных технологий изготовления;

определение необходимого количества материалов, прежде всего модельной древесины, с формированием карт раскроя;

нормирование трудозатрат;

формирование заявок на режущий и измерительный инструменты;

выпуск технологической документации.

Значимость этих задач в условиях единичного и мелкосерийного производства очень велика.

Известно, что при технологическом проектировании в машиностроении существуют два принципиально различных метода: метод анализа, или адресации технологических процессов (ТП), и метод синтеза. Первый основан на многоэлементных типовых (групповых) ТП, упорядоченных (по последовательности выполнения) набору описаний, достаточных для изготовления группы изделий с однородными конструктивно-технологическими признаками. Второй предполагает наличие локальных типовых технологических решений, на основании которых формируется индивидуальный технологический процесс.

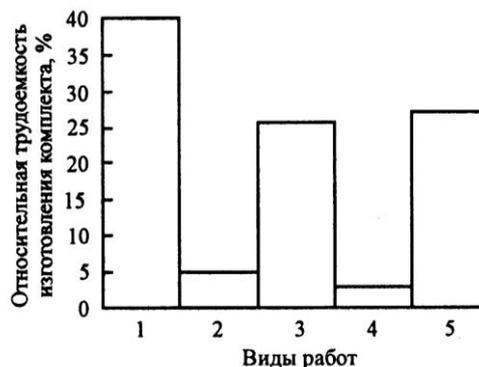


Рис. 4. Относительная производственная трудоемкость изготовления модельного комплекта по видам технологических операций: 1 – модельные (40,0 %), 2 – токарно-фрезерные (4,8 %), 3 – станочные (25,5 %), 4 – малярные (2,8 %), 5 – прочие (26,9 %)

Выбранный метод проектирования оказывает решающее воздействие на идеологию САПР ТП и во многом определяется уровнем унификации изделий. Модельное деревообрабатывающее производство характеризуется малым уровнем унификации, т.е. большим разнообразием моделей по формам и размерам. В этих условиях представляется целесообразным использование гибридного метода проектирования, согласно которому унификации, а следовательно, и локальной типизации ТП должны быть подвергнуты заготовки для синтеза элементов модельного комплекта. Указанный подход определяет актуальность разработки адаптированного к конкретному производству конструкторско-технологического классификатора. В основе его лежит декомпозиция каждого элемента модельного комплекта на иерархические группы, однородные по конструктивно-технологическим особенностям модельных заготовок, из которых эти элементы могут быть синтезированы.

Поскольку любая проектно-конструкторская деятельность характеризуется прогнозным характером получаемых решений, в памяти специалистов накапливаются и увязываются информация и знания практически обо всем жизненном цикле изделия. В связи с этим система автоматизации проектирования должна базироваться на сквозных методах как инструментах трансляции конструкторско-технологической информации на стадии изготовления, эксплуатации и утилизации изделий, что позволит резко сократить сроки конструкторско-технологической подготовки производства к выпуску нового изделия и повысить его качество.

Таким образом, по результатам выполненного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Высокая производственная трудоемкость обработки древесины при изготовлении модельных комплектов для литейного производства (в среднем около 42 нормо-ч/м<sup>3</sup>) обусловлена спецификой производства, подготовка которого построена на ручном, эскизном, весьма приближенном проектировании конструкций и технологий изготовления моделей. Это приводит к неточности материально-технического нормирования, нерациональному распределению работ и движению материалов по специализированным рабочим участкам.

2. В связи с мелкосерийностью и большой номенклатурой технологически разнородных изделий разработка САПР модельных комплектов и технологий целесообразна на основе метода синтеза индивидуального

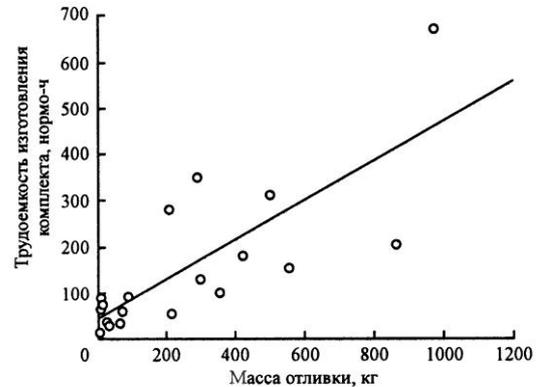


Рис. 5. Трудоемкость изготовления модельного комплекта в зависимости от массы отливки

технологического процесса, для чего необходима разработка адаптированного к конкретному производству конструкторско-технологического классификатора и системы кодирования изделий. Автоматизация ТП позволит снизить затраты и повысить качество выпускаемой продукции за счет оперативного принятия конструкторско-технологических решений на этапе подготовки производства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клебанер, В.Я.* Экономика и организация модельного производства [Текст] / В.Я. Клебанер. – Л.: Машиностроение, 1968. – 160 с.
2. Нормативы времени на модельные работы для единичного и мелкосерийного производства [Текст]. – М.: ЦБ промышленных нормативов по труду НИИ труда, 1974. – 176 с.
3. Типовой технологический процесс изготовления деревянных модельных комплектов для литейного производства [Текст]: производственное издание. – ФГУП ПО «Севмаш».

Поступила 20.10.09

*V.I. Malygin<sup>1</sup>, L.V. Kremleva<sup>1</sup>, V.T. Kharitonenko<sup>1</sup>, I.L. Varenikov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University, Sevmashtvuz

<sup>2</sup> Federal State Unitary Enterprise «PA SEVMASH»

#### **Influence of Engineering-and-economical Performance of Woodworking Model Enterprise on Automation Methodology of its Manufacturing System**

The specific character of woodworking model enterprise is defined; the analysis of industrial labor process of manufacturing a wooden model set is carried out; the production procedure of the model set manufacturing is summarized and presented in the form of a functional model; the basic technological operations are identified based on functional decomposition of manufacturing process; the ways of improving the design-technological preparation of manufacturing are outlined based on the cross-cutting methods of computer-aided design.

Keywords: model set, model timber, manufacturing process, functional model, industrial labor process, automation, design-technological preproduction.

УДК 674.812.06.02

**В.А. Шамаев, В.В. Златоустовская, А.С. Копытин**

Воронежская государственная лесотехническая академия

Шамаев Владимир Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Воронежский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры древесиноведения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 1100 печатных трудов в области древесиноведения и модифицирования древесины. Тел.: (4732) 53-67-22



Златоустовская Вероника Витальевна родилась в 1986 г., окончила в 2008 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры древесиноведения ВГЛТА. Тел.: 8-951-540-13-25

Копытин Александр Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры древесиноведения ВГЛТА. Тел.: (4732) 53-67-22

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ФОРМ И РАЗМЕРОВ ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Предложено повышать формоустойчивость прессованной древесины введением в нее перед прессованием стабилизаторов (уротропин, малеиновая кислота, карбамидоформальдегидный олигомер, карбамидоформальдегидная смола).

*Ключевые слова:* древесина, модифицирование, стабилизация, химические способы.

Прессование древесины относится к перспективным способам модифицирования. Основным недостатком получаемого материала является его повышенная формоизменяемость, в 10–15 раз превышающая разбухание и усушку по сравнению с натуральной древесиной. Предложено много способов стабилизации форм и размеров прессованной древесины [3–5, 8].

В России и Китае основной способ модифицирования – пропитка древесины мягких лиственных пород водным раствором карбамида с последующим одновременным прессованием и сушкой [6, 7], в результате чего материал приобретает физико-механические и декоративные свойства древесины дуба, махагони и самшита. Для стабилизации формы и размеров такой модифицированной древесины добавляют стабилизаторы, ускоряющие процессы сшивания карбамида с компонентами древесины. Ранее нами в качестве таких добавок использовались отходы производства каучука (КоРТ, КоРС, КоРБ), метилendiизоцианат, кремнийорганические соединения, полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт [6, 7].

В данной работе было предложено использовать уротропин (гексаметилентетрамин). Для этого древесину пропитывают раствором карбамида до его содержания 10...15 % от массы сухой древесины с последующей сушкой под давлением при температуре от 90 до 120 °С. При этом пропитку древесины осуществляют в растворе карбамида, содержащем 6...10 % уро-

тропина от массы сухого карбамида при pH 6,4...6,5, а давление при сушке поддерживают на постоянном уровне – 0,8 МПа [1].

Пропитка древесины раствором карбамида, содержащим 6...10 % уротропина от массы сухого карбамида в слабокислой среде, приводит к тому, что в процессе сушки при температуре 90...120 °С уротропин реагирует с карбамидом, образуя олигомеры, которые соединяются с компонентами древесины. В результате этого уплотненная древесина приобретает формостабильность в среде с переменной влажностью. На рис. 1 представлен график зависимости объемного разбухания  $\Delta V$  древесины в воде в течение 30 сут от содержания в растворе уротропина  $C_{ур}$ .

Предложенный способ осуществляется следующим образом. В 30 %-й раствор карбамида добавляют уротропин в количестве 6...10 % от массы сухого карбамида и кислоту (например соляную) до получения раствора, имеющего pH 6,4...6,5. Затем в полученный раствор помещают заготовки древесины и выдерживают до достижения содержания в них карбамида, равного 10...15 % от массы сухой древесины. После этого заготовки извлекают из раствора и помещают в установку для сушки под давлением. Процесс сушки заготовок проводят при постоянном давлении в диапазоне 0,5...1,2 МПа до 3...5 %-й влажности при изменении температуры от 90 до 120 °С. В итоге получают модифицированную древесину плотностью 800...1200 кг/м<sup>3</sup> с объемным разбуханием 22...25 %.

Близкий по стабилизации результат получается при использовании форконденсата карбаминоформальдегидного олигомера [2]. В этом случае пропитку древесины осуществляют в 30...40 %-м водном растворе карбамида, содержащем 10...12 % форконденсата карбаминоформальдегидного олигомера по отношению к массе сухого карбамида, а температуру в конце сушки доводят до 130 °С. Для модифицирования древесины используют водные дисперсии карбаминоформальдегидных смол. Использование смол требует для получения формостабильной древесины введения 70...100 %-й дисперсии смолы от массы сухой древесины, в результате чего сам материал становится токсичным и дорогим. Введение смеси карбамида и формальдегида было неэффективно, так как реакции поликонденсации происходили неуправляемо, часто начинаясь еще в пропиточном растворе, и процент формостабильной древесины не превышал 15.

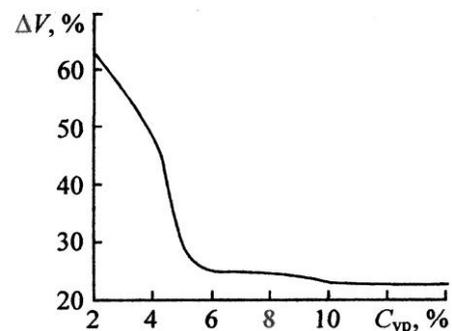


Рис.1. Зависимость объемного разбухания  $\Delta V$  от содержания уротропина  $C_{ур}$  (в процентах от массы сухого карбамида)

Использование форконденсата позволило исключить реакцию поликонденсации в пропиточном растворе и проводить ее в сухой древесине, влажность которой станет менее 30 %. К этому моменту древесина уже проходит стадию прессования. Карбамид, как пластификатор, уже сыгравший свою роль, в процессе дальнейшей сушки при температуре 120...130 °С вступает в реакцию с форконденсатом и компонентами древесины, образуя неплавкие и нерастворимые продукты сшивки, придающие формостабильность древесине. Повышение температуры в конце сушки более 130 °С нецелесообразно, так как начинается процесс деструкции продуктов поликонденсации и снижается формостабильность древесины. Нижний предел содержания форконденсата (10 %) обусловлен эффективностью формостабилизации прессованной древесины на уровне натуральной древесины твердых пород, т. е. 14...16 %, верхний предел (12 %) – тем, что при большей концентрации форконденсата реакции поликонденсации происходят с меньшим выходом, появляется свободный формальдегид и материал становится токсичным (эмиссия 300 мг/л). Поэтому содержание форконденсата в древесине не должно превышать 1,5 % от массы абсолютно сухой древесины.

Реакцию осуществляют следующим образом. В 30...40 %-й водный раствор карбамида добавляют 10...12 % форконденсата от массы сухого карбамида. Заготовки из сырой древесины загружают в раствор и проводят пропитку с торца под давлением 0,8 МПа до содержания карбамида 10...15 % от массы абс. сухой древесины. После этого заготовки высушивают до влажности 4...5 % под механическим давлением 0,6...1,0 МПа при температуре от 100 до 130 °С. В результате получают модифицированную древесину плотностью 800...1100 кг/м<sup>3</sup>, имеющую максимальное объемное разбухание в воде 14...16 %, т. е. на уровне натуральной древесины твердых пород.

Наилучший результат по стабилизации форм и размеров прессованной древесины получен при использовании водного раствора малеиновой кислоты.

Учитывая, что малеиновая кислота является двухосновной, наличие двух видов функциональных групп (кислотных и двойной связи) в молекуле малеиновой кислоты дает ей возможность принимать участие в реакциях полимеризации и поликонденсации. Древесина состоит из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина, содержащих гидроксильные группы. Таким образом, в пропитанной малеиновой кислотой древесине может происходить реакция поликонденсации, при которой реакционные группы малеиновой кислоты будут соединяться с компонентами древесины, образуя сложные

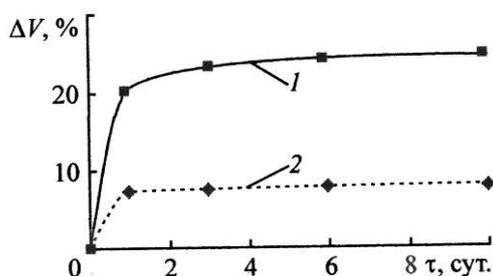


Рис. 2. Объемное разбухание модифицированной древесины: 1 – обработка уротропином; 2 – малеиновой кислотой

эффиры в результате реакции конденсации, а также и реакции с участием двойной связи малеиновой кислоты. При этом процесс конденсации может протекать и на межмолекулярном уровне с образованием сшитых структур, придающих формостабильность уплотненной древесине и снижающих ее объемное разбухание.

На рис. 2 представлен график зависимости объемного разбухания  $\Delta V$  древесины от времени  $t$  пребывания ее в воде.

Предложенный способ пропитки осуществляется следующим образом. Заготовки древесины пропитывают 40 %-м раствором малеиновой кислоты методом «с торца» под механическим давлением 0,8...1,2 МПа при комнатной температуре пропиточного состава (18...25 °С) в течение 1...2 мин, что позволяет произвести сквозную пропитку и достичь 10...15 %-го содержания в них пластификатора от массы сухой древесины. Пропитанные заготовки высушивают до влажности 15...20 % и прессуют поперек волокон при давлении 15...20 МПа в течение 1...2 мин. После прессования заготовки в пресс-формах высушивают до влажности 4...5 % при температуре 110...120 °С. Далее их извлекают из форм и подвергают термообработке при температуре 160...170 °С в течение 4...5 ч.

Ниже приведен пример практической реализации данного способа стабилизации прессованной древесины.

К торцу березовой заготовки размерами 50×50×100 мм подводят 40 %-й водный раствор малеиновой кислоты и производят пропитку с торца под давлением 0,8 МПа до появления с противоположного торца раствора малеиновой кислоты. Содержание малеиновой кислоты составляет 13 % от массы сухой древесины. Заготовки высушивают до влажности 15...20 % и осуществляют прессование поперек волокон при давлении 15 МПа. Затем заготовки вместе с пресс-формами высушивают при температуре 120 °С до влажности 4 % и подвергают термозакаливанию при 160 °С в течение 5 ч. После охлаждения заготовки извлекают из пресс-формы и проводят испытания.

Характеристика свойств получаемого материала приведена ниже.

Содержание модификатора.....	13 %
Температура термообработки.....	160 °С
Плотность.....	1250 кг/м <sup>3</sup>
Объемное разбухание.....	7,8, %
Торцовая твердость.....	159 МПа

Таким образом, исследованиями установлено, что применение малеиновой кислоты для модификации и проведение процесса прессования позволяют получить древесину, обладающую повышенной плотностью и объемным разбуханием, не превышающим 10 %. Это повышает формостабильность изделий из древесины и эффективно защищает их от воздействия воды.

Для того, чтобы выяснить возможно ли получение полностью стабильной прессованной древесины, не имеющей изменения размеров в среде с переменной влажностью, необходимо решить триединую задачу. Стабилизацию в этом случае необходимо проводить на трех уровнях строения дре-

весины: на уровне элементарных молекул и функциональных групп ингредиентов древесины; на уровне макро- и микрофибрилл, составляющих клеточную стенку; на уровне геометрии клеток древесины, меняющих конфигурацию в процессе прессования.

На первом уровне необходимо блокировать гидроксильные группы целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, ответственные за гидрофильность древесины. Это решается исчерпывающим ацелированием древесины, например, уксусным ангидридом.

На втором уровне следует подвергнуть сшивке макромолекулы целлюлозы, формирующие микрофибриллы, лишив их возможности взаимного перемещения. Для этого важно пропитать древесину мономером или олигомером, проникающим в клеточную стенку, с последующей полимеризацией. Это решается пропиткой древесины фенолформальдегидным олигомером (фенолоспиртами) с последующим отверждением.

Наиболее труден третий уровень, когда необходимо стабилизировать клетки древесины, сплюснутые в результате прессования, поскольку при их распрямлении происходит основная деформация разбухания древесины (более 80 % общей). Сплюснутые клетки и сосуды находятся в напряженном состоянии и при попадании влаги стремятся к возвращению природной формы. Для их стабилизации необходимо создание в люменах пространственной трехмерной сетки с обязательной сшивкой ее с функциональными группами древесины. Как известно, такую сетку образуют при отверждении фенолоспирты, реагирующие с активными группами ингредиентов древесины.

Данная гипотеза была проверена экспериментально. Заготовки прямоугольной формы из древесины мягких лиственных пород влажностью 10...15 % подвергают исчерпывающему ацелированию избытком уксусного ангидрида в течение 48 ч. После этого образовавшуюся в древесине уксусную кислоту и избыток уксусного ангидрида удаляют высушиванием в сушильной камере при температуре 80...100 °С. Прирост массы ацетильных групп составляет 25...30 % (степень конверсии гидроксильных групп древесины 85...95 %). Вместо уксусного ангидрида можно использовать обработку кетоном в течение 10 ч. При этом операция сушки отпадает. Высушенные заготовки под давлением пропитывают 46 %-ми водными растворами фенолоспиртов до прироста массы раствора 80...100 %, после чего их обезвоживают над пентаоксидом фосфора до влажности 10...12 %. Прирост массы фенолоспирта в пересчете на сухую древесину составляет 36...42 % по сухому остатку.

Полученный материал прессуют в пресс-формах до плотности более 1200 кг/м<sup>3</sup>. Если плотность прессованной древесины менее 1200 кг/м<sup>3</sup>, то полости клеток сплюснуты недостаточно и сшивка их продуктами поликонденсации фенолоспиртов происходит не полностью. Спрессованные заготовки подвергают термической обработке при температуре 110...140 °С.

Продолжительность отверждения фенолоспиртов составляет 6...10 мин на 1 мм толщины прессованной заготовки (при температуре соответственно 140 и 110 °С). Предельное объемное разбухание модифицированной таким образом древесины составило 0,6 %, предельное водопоглощение – 6 %. В таблице приведены свойства древесины, совместно обработанной уксусным ангидридом и фенолоспиртами, в сравнении со способами модифицирования, когда древесину обрабатывают только ацелированием или только фенолоспиртами.

Интересно отметить, что суммарный эффект стабилизирующего влияния фенолоспиртов и ацелирования по разбуханию должен составить

Обработка прессованной древесины	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Степень ацелирования	Содержание фенолоспиртов в древесине	Объемное разбухание	Водопоглощение
Уксусным ангидридом	1200	22	–	15,0	18
Фенолоспиртами	1010	–	120	6,0	23
Уксусным ангидридом и фенолоспиртами	1200	23	100	0,6	6

4,3 %, по водопоглощению – 10,3 %.

Сравнив данные этой таблицы с характеристиками получаемого материала (см. с. 119), имеем фактически синергический эффект от совместного воздействия фенолоспиртов и ацелирования, превышающий расчетный по разбуханию в 7 раз, по водопоглощению в 2 раза. Наиболее стабилизирующим фактором для прессованной древесины является обработка фенолоспиртами. Совместное воздействие ацелирования и фенолоспиртов по сравнению с обработкой только фенолоспиртами позволяет снизить водопоглощение в 4 раза, набухание – в 10 раз. Для нестабилизированной прессованной древесины эти показатели составят соответственно 30 и 200 раз.

Таким образом, рассмотренный способ химической стабилизации карбаминоформальдегидным олигомером позволяет получить практически стабильную прессованную древесину, формоизменяемость которой находится на уровне температурных изменений материалов.

#### *Выводы*

1. Из рассмотренных химических способов стабилизации форм и размеров прессованной древесины для практического использования можно рекомендовать применение карбаминоформальдегидного олигомера, позволяющего получить модифицированную древесину с объемным разбуханием меньше, чем у натуральной древесины.

2. Подтверждена гипотеза о получении модифицированной древесины, практически стабильной в среде с переменной влажностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2131351 РФ, МПК В 27 К 3/50. Способ получения модифицированной древесины [Текст] / Ткаченко В.И., Канцелярист Д.В., Шамаев В.А. [и др.]. – Заявл. 19.11.97; опубл. 10.06.99, Бюл. № 18. – 3 с.
2. Пат. 2229377 РФ, МПК В 27 К 3/50. Способ получения модифицированной древесины [Текст] / Шамаев В.А., Лихачева Л.Б., Сафронов Н.Г. – Заявл. 06.12.2001; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15.
3. Стабилизация размеров древесины низкомолекулярными полимерами [Текст] / М.С. Глазков [и др.] // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1998. – Т. 4, № 3. – С. 201–208.
4. Шамаев, В.А. Влияние полимерных добавок на стабилизацию обработанной мочевиной прессованной древесины [Текст] / В.А. Шамаев, Н.Н. Буренина, С.С. Никулин // Химия древесины. – 1988. – № 2. – С. 96–110.
5. Шамаев, В.А. Модификация древесины [Текст] / В.А. Шамаев. – М.: Экология, 1991. – 128 с.
6. Шамаев, В.А. Строение и свойства модифицированной древесины [Текст] / В.А. Шамаев // Строение, свойства и качество древесины: тр. IV междунар. симпозиума. – Т. 1. – С.-Петербург, 2004. – С. 390–392.
7. Шамаев, В.А. Химико-механическое модифицирование древесины [Текст] / В.А. Шамаев. – Воронеж: ВГЛТА, 2003. – 260 с.
8. Shamaev, V.A. Modifikacja drewna monchnikiem [Text] // Zestyty problem we Posterow Nauk Rolniczych, 1987. – S. 212–232.

Поступила 07.12.09

*V.A. Shamaev, V.V. Zlatoustovskaya, A.S. Kopytin*  
Voronezh State Forestry Engineering Academy

#### **Stabilization of Forms and Dimensions of Pressed Wood by Chemical Methods**

It is proposed to enhance the shape ability of pressed wood by introducing stabilizers before pressing (urotropine, maleic acid, urea-formaldehyde oligomer, urea-formaldehyde resin).

Keywords: wood, modification, stabilization, chemical methods.

---

**ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**

УДК 547.562

*А.М. Айзенштадт, М.В. Богданов, Л.В. Сахно*

Архангельский государственный технический университет

Айзенштадт Аркадий Михайлович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и экологии в строительстве, проректор по научной работе Архангельского государственного технического университета. Имеет более 150 печатных работ в области физико-химии растворов, химии растительных полимеров, экоаналитики.

E-mail: aizenstadt@agtu.ru



Богданов Михаил Владиславович родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 80 печатных трудов в области физико-химии растворов, электрохимии.

E-mail: bvmvicha@atknet.ru



Сахно Лилия Владимировна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, инженер экспертно-аналитического отдела АГТУ. Имеет 2 печатные работы.

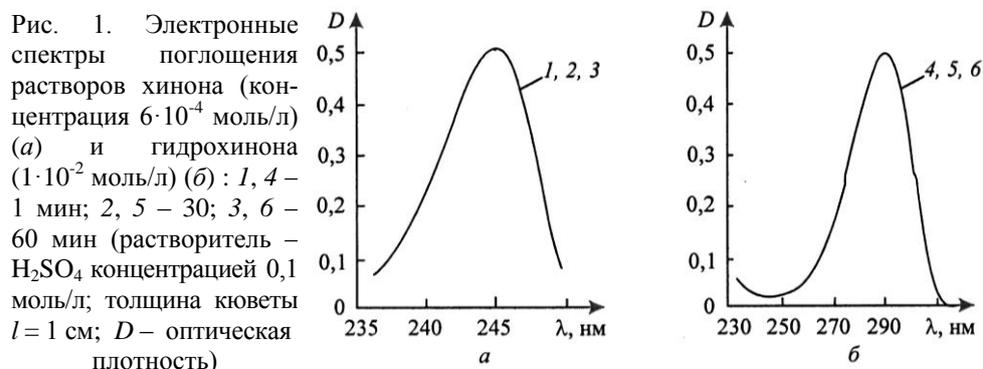
E-mail: l.sahno@agtu.ru

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ХИНОН–ГИДРОХИНОН В КАЧЕСТВЕ МЕДИАТОРА**

Определены физико-химические характеристики оксред-взаимодействия в системе лигнинный полимер–окислительно-восстановительная система хинон–гидрохинон.

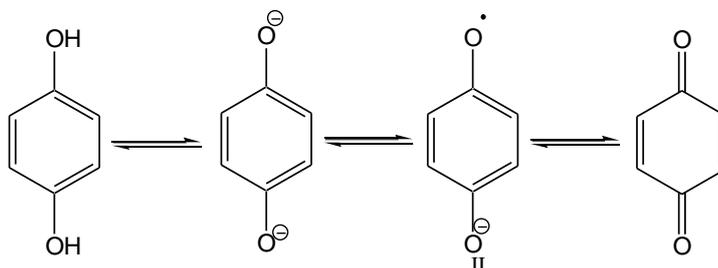
*Ключевые слова:* система хинон–гидрохинон, медиатор, оксредметрия, оптическая плотность, температурный коэффициент, потенциал раствора, коэффициент молярного поглощения.

Возможности метода оксредметрии широко обсуждались нами ранее в работе [3], однако до настоящего времени набор медиаторов – обратимых окислительно-восстановительных систем (ОВС) – ограничивался солями металлов переменной валентности. Вместе с тем, изучение окислительно-восстановительных свойств растительных редокситов с помощью ОВС на основе органических соединений, моделирующих в какой-то мере его макромолекулу, может послужить основой для создания новых, более совершенных аналитических систем, позволяющих управлять химической трансформацией таких растительных полимеров, как лигнин и его производные.



В работе [2] сообщается, что наряду с неорганическими ОВС существует система с аналогичными свойствами, состоящая из смеси хинона и гидрохинона.

В исследованиях [1] нами отмечалось, что процесс окисления гидрохинона проходит через стадию образования соответствующего хингидрона, а затем при отщеплении двух атомов водорода получается *n*-бензохинон. Данный многоатомный фенол мягкими окислителями переводится в семихиноновый анионрадикал (II), что приводит к созданию термодинамически обратимой ОВС:

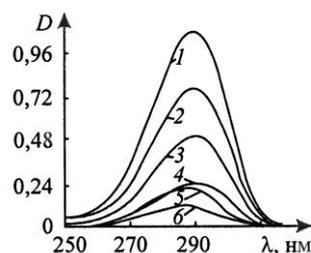


Вышеизложенное, позволяет предложить ОВС хинон–гидрохинон в качестве перспективного медиатора, границы обратимости (или практического использования) для которого необходимо установить. В настоящей работе обсуждается полученный нами экспериментальный материал, позволяющий ответить на данный вопрос.

Для создания ОВС в качестве исходного химического соединения использовали гидрохинон. Ок-форму медиатора (хинон) получали окислением гидрохинона по методике [4]. Чтобы определить устойчивость растворов исходных соединений ок- и ред-форм медиатора, записывали их электронные спектры поглощения в нейтральной и кислой средах на спектрофотометре Specord-200.

Полученные экспериментальные данные, представленные на рис. 1, позволили установить, что оптическая плотность данных растворов при длине волны, соответствующей максимуму поглощения  $\lambda_{\max}$ , в течении 60 мин эксперимента не изменяет своего значения: для растворов хинона  $\lambda_{\max} = 245$  нм, гидрохинона – 288 нм. Однако при переходе из кислой среды в нейтральную оптическая плотность раствора хинона изменяется, а спектральные характеристики раствора гидрохинона продолжают оставаться стабильными.

Рис. 2. Электронные спектры поглощения растворов хинона разной концентрации: 1 –  $10,0 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $6,0 \cdot 10^{-4}$ ; 3 –  $5,0 \cdot 10^{-4}$ ; 4 –  $3,0 \cdot 10^{-4}$ ; 5 –  $2,5 \cdot 10^{-4}$ ; 6 –  $1,0 \cdot 10^{-4}$  моль/л (см. условия в подписи к рис. 1)



Анализ спектров поглощения этих же соединений в щелочной среде (концентрация NaOH – 0,1 моль/л) показал следующее: спектр раствора хинона не изменяется, а в спектральной характеристике раствора гидрохинона появляются два новых пика при 264 и 300 нм.

Для определения границ применимости данной ОВС необходимо готовить растворы с точно заданными концентрациями ок- и ред-форм. Если для раствора гидрохинона расчет точной концентрации достаточно прост, то содержание хинона определяли, используя его спектральные характеристики (коэффициент молярного поглощения  $\epsilon$ ) в соответствующем растворителе. С этой целью была определена зависимость величины оптической плотности при  $\lambda_{\max}$  от концентрации хинона (диапазон концентраций  $c_x = (1 \dots 10) \cdot 10^{-4}$  моль/л) в различных растворителях ( $H_2O$  и  $H_2SO_4$  концентрацией 0,1 и 1,0 моль/л).

Полученные результаты, представленные на рис. 2, 3, позволили рассчитать коэффициенты молярного поглощения хинона в используемых растворителях (табл. 1).

Критерием оценки возможности использования ОВС в качестве медиатора является ее подчиненность уравнению Нернста:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{ок}}}{a_{\text{ред}}},$$

где  $\varphi$  и  $\varphi_0$  – потенциал ОВС и его стандартное значение, В;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314$  Дж/(К·моль);

$T$  – температура проведения опыта, К;

$n$  – число электронов, участвующих в электрохимической реакции;

$F$  – число Фарадея,  $F = 96493$  Кл/моль;

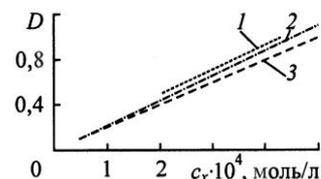
$a_{\text{ок}}$  и  $a_{\text{ред}}$  – активность ок- и ред-форм медиатора, моль/л.

Таблица 1

**Изменение коэффициента молярного поглощения растворов хинона в различных растворителях**

Растворитель (концентрация)	Коэффициент молярного поглощения, л/(моль·см)	Коэффициент парной корреляции $r$
$H_2O$	4614	0,98
$H_2SO_4$ (0,1 моль/л)	6071	0,96
$H_2SO_4$ (1,0 моль/л)	4655	0,94

Рис. 3. Зависимость оптической плотности растворов хинона от его концентрации для различных растворителей ( $l = 1$  см): 1, 3 –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $l = 0,1$  моль/л; 3 –  $1,0$  моль/л); 2 –  $\text{H}_2\text{O}$

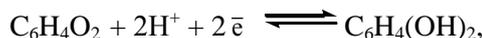


В нашем случае, когда используются разбавленные растворы органических соединений, допустим, что коэффициент активности ок- и ред-форм равен 1, тогда уравнение Нернста примет вид:

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_{\text{ок}}}{c_{\text{ред}}},$$

где  $c$  – концентрация соответствующего компонента.

Для системы хинон–гидрохинон, исходя из брутто-схемы химического равновесия



запишем уравнение Нернста в следующем виде (при  $T = 298$  К):

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{c_{\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2} c_{\text{H}^+}^2}{c_{\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2}}.$$

При  $c_{\text{H}^+} = \text{const}$  температурный коэффициент  $RT/nF$  может служить показателем подчиненности системы требованиям к медиаторам. Для экспериментального определения температурных коэффициентов  $\frac{RT}{nF}$  определяли потенциал ОВС хинон–гидрохинон при различных соотношениях  $\frac{c_{\text{ок}}}{c_{\text{ред}}}$  и

pH раствора. Эксперименты проводили по следующей методике.

В качестве исходного раствора использовали раствор гидрохинона концентрацией  $0,5$  моль/л. Для получения растворов с различным соотношением  $\frac{c_{\text{ок}}}{c_{\text{ред}}}$  к исходному раствору добавляли определенный объем раствора хинона концентрацией  $0,5$  моль/л.

В ячейку, термостатированную при  $25$  °С, вносили необходимые количества растворов хинона и гидрохинона, погружали платиновый и хлор-серебряный электроды и измеряли потенциал электродной пары через  $5$  мин после установления постоянного значения.

Полученные экспериментально данные приведены в табл. 2.

На рис. 4 представлена функциональная зависимость  $\varphi = f\left(\lg \frac{c_{\text{ок}}}{c_{\text{ред}}}\right)$ ,

которая имеет линейный характер при изменении pH от  $-0,30$  до  $6,24$  для восьми серий эксперимента, а в табл. 3 – аппроксимация данной зависимости уравнениями прямых линий.

Полученные результаты позволили рассчитать температурный коэффициент, среднее значение которого для всех серий эксперимента составило  $(29,48 \pm 0,85)$  л/(моль·см), что близко к теоретическому  $(28,50)$  л/(моль·см).

Рис. 4. Функциональная зависимость вида  $\varphi = f(\lg c_{\text{ox}}/c_{\text{red}})$  при различных значениях pH раствора: 1 – -0,30; 2 – 0; 3 – 0,30; 4 – 0,70; 5 – 2,28; 6 – 3,56; 7 – 5,65; 8 – 6,24

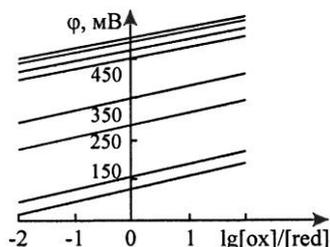


Таблица 2

**Потенциал растворов ОВС хинон–гидрохинон при различных соотношениях окисленной и восстановленной форм**

pH	Потенциал ОВС, мВ, при соотношении [ox]/[red]										
	100/1	80/1	60/1	40/1	20/1	1/1	1/20	1/40	1/60	1/80	1/100
-0,30	420,9	420,9	430,9	434,2	438,4	458,6	487,8	494,4	500,6	511,0	518,5
0,00	394,9	403,0	407,1	411,4	416,5	444,5	477,3	485,8	493,9	502,8	511,3
0,30	393,2	398,2	403	405,2	413,4	429,7	468,9	478,4	487,6	490,3	489,9
0,70	363,5	368,5	372,9	377,0	386,4	416,2	444,0	455,3	463,6	471,7	477,3
2,28	283,0	284,8	289,2	294,6	309,7	346,3	377,1	386,9	392,3	404,8	412,0
3,56	235,8	241,5	243,6	252,5	261,5	292,5	332,0	338,5	343,9	351,1	356,5
5,65	174,1	176,4	182,3	189,2	200,6	240,9	267,9	281,5	288,9	294,4	301,0
6,24	87,2	89,1	94,3	100,9	110,6	140,4	177,2	193,6	206,0	215,9	221,7

Известно, что в растворе ОВС при соотношении  $c_{\text{ox}} = c_{\text{red}} = 1$  электродный потенциал зависит только от концентрации ионов  $\text{H}^+$ :

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{c_{\text{ox}}}{c_{\text{red}}} + 0,0591 \lg c_{\text{H}^+} \quad \text{или} \quad \varphi = \varphi_0 - 0,059 \text{pH}.$$

Для проверки данного условия определяли значения окислительно-восстановительного потенциала системы хинон–гидрохинон при соотношении  $c_{\text{ox}} = c_{\text{red}} = 1$  и различных концентрациях растворителя (табл. 3).

Таблица 3

**Температурный коэффициент и электродный потенциал в уравнении Нернста для ОВС хинон–гидрохинон при различных значениях pH**

pH	Уравнение	Температурный коэффициент, мВ	Электродный потенциал, мВ
-0,30	$y = 29,18x + 497,41 (r = 0,998)$	29,18	686
0,00	$y = 29,38x + 487,88 (r = 0,998)$	29,38	687
0,30	$y = 28,76x + 468,93 (r = 0,999)$	28,76	686
0,70	$y = 29,16x + 448,87 (r = 0,996)$	29,16	689
2,28	$y = 28,62x + 351,20 (r = 0,998)$	28,62	685
3,56	$y = 29,51x + 285,29 (r = 0,998)$	29,51	693
5,65	$y = 29,94x + 159,84 (r = 0,997)$	29,94	692
6,24	$y = 30,33x + 127,12 (r = 0,993)$	30,33	694

Полученные экспериментальные результаты\* представлены на рис. 5 в виде зависимости  $\varphi = f(\text{pH})$ . Данная функциональная зависимость имеет линейный характер. Тангенс угла наклона данной зависимости равен 43,21 и хорошо согласуется с теоретическим значением.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов установлено, что ОВС хинон–гидрохинон удовлетворяет требованиям, предъявляемым к медиаторам в методе оксредметрии, и может быть использована в водных, кислых и нейтральных средах в диапазоне соотношения концентраций ox- и red-форм от 100:1 до 1:100.

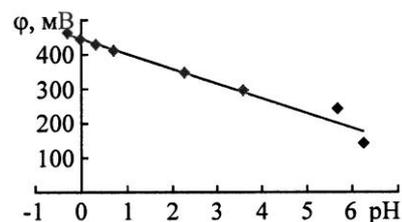


Рис. 5. Зависимость потенциала ОВС от pH при соотношении концентраций хинон–гидрохинон 1:1 ( $y = -43,213x + 445,69$ ;  $r = 0,9842$ )

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К вопросу об эффективном потенциале родственных лигнину фенолов [Текст] / А.М. Айзенштадт [и др.] // Лесн. журн. – 2006. – № 3. – С. 91–97. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Никольский, Б.П.* Оксредметрия [Текст]: моногр. / Б.П. Никольский, В.В. Пальчевский. – Л.: Химия, 1975. – 303 с.
3. Оксредметрия в химии древесины (теория и практика) [Текст]: моногр. / А.М. Айзенштадт [и др.]. – Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. – 277 с.
4. *Тимце, Л.* Препаративная органическая химия: Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории [Текст] / Л. Тимце, Т. Айхер; пер. с нем. – М.: Мир, 2004. – 704 с.

Поступила 11.09.09

*A.M. Aizenshtadt, M.B. Bogdanov, L.V. Sakhno*  
Arkhangelsk State Technical University

#### Evaluation of Using Oxidation-reduction System of Quinine-hydroquinone as Mediator

Physico-chemical characteristics of oxidation-medium interaction are determined in the lignin polymer - oxidation-reduction system of quinine-hydroquinone.

Keywords: quinine-hydroquinone system, mediator, oxredmetry, optical density, temperature coefficient, solution potential, coefficient of molar absorption.

---

\* Коллектив авторов благодарит за участие в проведении экспериментов студентку химико-технологического факультета АГТУ В.А. Данилову.

УДК 544.362:544.51

**Н.С. Горбова<sup>1</sup>, Д.С. Косяков<sup>2</sup>, К.Г. Боголицын<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет

Горбова Наталья Сергеевна родилась в 1976 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, ученый секретарь Института экологических проблем Севера УрО РАН, доцент кафедры теоретической и прикладной химии АГТУ. Имеет более 40 печатных работ в области физической химии растворов лигнина и родственных ему соединений.  
E-mail: n.gorbova@ierp.ru



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет около 70 печатных работ в области физической химии растворов лигнина и родственных ему соединений.  
E-mail: kosyakov@mail.ru

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, директор Института экологических проблем Севера УрО РАН, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, чл.-корр. РИА, академик МАНЭБ и РАИН, действительный член Международной академии лесных наук (IAWS). Имеет более 400 научных работ в области развития фундаментальных принципов «зеленой» химии и разработки физико-химических основ процессов переработки древесины.  
E-mail: bogolitsyn@agtu.ru



## **ПРОТОЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РОДСТВЕННЫХ ЛИГНИНУ ФЕНОЛОВ В ЭЛЕКТРОННО-ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ\***

С использованием методов электронной абсорбционной и люминесцентной спектроскопии на основе цикла Ферстера определены константы кислотности ряда гваяцильных фенолов, моделирующих структурные фрагменты макромолекулы лигнина, в электронно-возбужденных состояниях ( $pK_a^*$ ); показано значительное снижение  $pK_a$  родственных лигнину фенолов при фотовозбуждении, коррелирующее со свойствами *para*-заместителя по отношению к фенольной гидроксильной группе.

*Ключевые слова:* лигнин, фенолы, электронно-возбужденные состояния, флуоресценция, константы кислотности.

При изучении реакционной способности и поведения лигнина в технологических процессах переработки растительного сырья, отбелики целлюлозных

---

\* Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за финансовую поддержку выполненных исследований (проекты № 09-03-00809-а, № 07-03-05031-б, № 08-03-05064-б).

полуфабрикатов, исследовании механизма светостарения лигноцеллюлозных материалов необходимо учитывать роль электронно-возбужденных состояний фенольных структур. Они могут генерироваться как под действием электромагнитного излучения в УФ- и видимой областях спектра (фотовозбуждение), так и в ходе некоторых химических реакций. Известно, что перенос  $\pi$ -электронов в фенолах на уровни с более высокой энергией приводит к значительному возрастанию полярности молекулы [3], что неизбежно сопровождается изменением протолитических свойств фенольной гидроксильной группы. Авторами работы [4] установлено, что значения констант кислотности родственных лигнину мономерных гваяцильных фенолов в возбужденных состояниях  $pK_a$  лежат в диапазоне от 2,4 до 5,0 и практически не коррелируют со свойствами *para*-заместителя по отношению к фенольному гидроксилу, т.е. исследованные соединения в возбужденных состояниях являются значительно более сильными кислотами по сравнению с основным состоянием.

Резкое возрастание кислотности при фотовозбуждении может рассматриваться как одна из причин изменения оптических и прочностных свойств бумаги и картона при их светостарении. Снижение pH среды может приводить к развитию процессов деградации полисахаридов [6]. В связи с этим точное определение  $pK_a^*$  структурных фрагментов лигнина представляется актуальной задачей, решение которой и является целью настоящего исследования.

Для достижения поставленной цели нами использованы методы электронной абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии, основанные на термодинамическом цикле Ферстера [2]:

$$N_a h\nu_{0-0(\text{HA})} + \Delta H^{0*} = N_a h\nu_{0-0(\text{A}^-)} + \Delta H^0$$

или

$$\Delta H^{0*} - \Delta H^0 = N_a (h\nu_{0-0(\text{A}^-)} - h\nu_{0-0(\text{HA})}), \quad (1)$$

где  $\Delta H^0$  и  $\Delta H^{0*}$  – стандартные мольные энтальпии диссоциации кислоты НА соответственно в основном и возбужденном состояниях;

$h\nu_{0-0(\text{HA})}$  и  $h\nu_{0-0(\text{A}^-)}$  – энергии электронного перехода между нижними колебательными уровнями основного и возбужденного состояний кислоты (НА) и соответствующего аниона (A<sup>-</sup>).

Считая, что энтропии ионизации основного и возбужденного состояний молекулы равны, в уравнении (1) разность энтальпий можно заменить на разность энергий Гиббса кислотной ионизации, которые, в свою очередь, связаны с константой кислотности уравнением изотермы:

$$\Delta G^0 = 2,303RTpK_a; \quad \Delta G^{0*} = 2,303RTpK_a^*,$$

где R – газовая постоянная;

T – температура.

В этом случае

$$pK_a^* = pK_a + \frac{N_a h}{2,303RT} \left( \nu_{0-0(A^-)} - \nu_{0-0(HA)} \right). \quad (2)$$

При переходе от частот к волновым числам ( $\tilde{\nu}$ ,  $\text{см}^{-1}$ ) при  $T = 298$  К выражение (2) преобразуется к окончательному виду, пригодному для расчета:

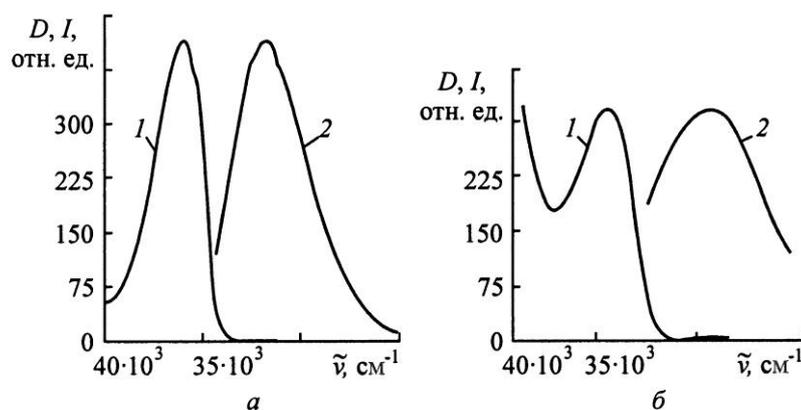
$$pK_a^* = pK_a + 2,095 \cdot 10^{-3} (\tilde{\nu}_{0-0(A^-)} - \tilde{\nu}_{0-0(HA)}). \quad (3)$$

#### Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования выбраны 2-метоксифенол (гваякол) и семь его *para*-производных, моделирующих структурные фрагменты макромолекулы хвойного лигнина: 3-метокси-4-окситолуол (креозол), 1-(3-метокси-4-оксифенил)-пропен-2(эвгенол), 1-(3-метокси-4-оксифенил)-пропен-1 (изоэвгенол), 3-метокси-4-оксибензальдегид (ванилин), 3-метокси-4-оксибензиловый спирт (ванилиновый спирт), 3-метокси-4-оксиацетофенон (ацетованилон), 3-метокси-4-оксикоричный альдегид (кониферилловый альдегид). Эти модельные соединения использовались без дополнительной очистки в виде коммерчески доступных препаратов («Sigma-Aldrich», США) квалификации «*rigum*».

При исследовании молекулярных и анионных форм фенолов создавались фоновые концентрации 0,02 моль/л соляной кислоты и гидроксида тетраэтиламмония (*rigum*, «Fluka») соответственно.

Спектры поглощения записывали на двухлучевом UV-VIS спектрофотометре UV-2550 («Shimadzu», Япония) в кварцевых односантиметровых кюветах относительно воды при комнатной температуре в диапазоне длин волн 220...400 нм с интервалом 0,1 нм. После сглаживания по Голею–Савицкому определяли положение полос поглощения с точностью  $\pm 0,1$  нм. Спектры флуоресценции в диапазоне 300...500 нм получены в кварцевых прямоугольных односантиметровых флуориметрических кюветах («Hellma», Германия) на спектрофлуориметре Cary Eclipse («Varian», Австралия) при температуре  $(25 \pm 0,1)$  °С, поддерживаемой с помощью пельтье-термостатирующего устройства. Спектральная ширина щели в монохроматорах возбуждения и эмиссии составляла 5 нм. Длина волны возбуждающего излучения соответствовала положению максимума наиболее длинноволновой полосы поглощения соответствующего соединения, при этом концентрация раствора подбиралась таким образом, чтобы оптическая плотность не превышала 0,1 с целью избежания эффекта внутреннего фильтра [5]. Коррекцию спектров эмиссии осуществляли, используя кварцевый диффузор, характеризующийся равномерным светорассеянием в диапазоне длин волн 220...800 нм. Спектры растворителя, полученные в аналогичных условиях, вычитались из спектров исследуемых растворов с помощью программного обеспечения прибора. Положение полосы в эмиссионном спектре определяли с точностью  $\pm 0,2$  нм после сглаживания методом скользящего среднего.



Нормализованные спектры поглощения (1) и флуоресценции (2) ванилинового спирта в молекулярной (а) и анионной (б) формах в водном растворе

Волновые числа, отвечающие 0–0 переходам  $\pi \rightarrow \pi^*$ , определяли как среднее арифметическое положения полос поглощения (вторичная бензоеидная полоса)  $\tilde{\nu}_{abs}^{max}$  и флуоресценции  $\tilde{\nu}_{em}^{max}$  соответствующих частиц [7]:

$$\tilde{\nu}_{0-0} = (\tilde{\nu}_{abs}^{max} + \tilde{\nu}_{em}^{max}) / 2 . \quad (4)$$

Константы кислотности в основном состоянии  $pK_a$  взяты нами из работы [6].

#### Обсуждение результатов

Использование уравнения (4) для точного определения энергии 0–0 перехода подразумевает тождественность колебательной структуры и геометрии основного и синглетного возбужденного электронных состояний молекулы [7]. Именно такое поведение демонстрируют исследованные нами фенолы – эмиссионные полосы являются зеркальным отображением полос в спектрах поглощения, отличаясь несколько большей полушириной и потерей вибронной структуры (см. рисунок).

Полученные результаты измерений и расчетов по уравнению (3) представлены в таблице.

Из полученных данных видно, что все исследованные фенолы при фотовозбуждении резко усиливают свои кислотные свойства, в то же время наблюдается очевидное несоответствие величин  $pK_a^*$  результатам, которые получены авторами работ [1, 4]. Константы кислотности гваякола и его производных с неполярными заместителями достаточно малы, причем наблюдается взаимосвязь между протолитическими свойствами и типом группировки в *para*-положении к фенольной гидроксильной группе. Соединения, содержащие электроноакцепторную карбонильную группу, сопряженную с ароматическим ядром (ванилин, ацетованилон, кониферилловый альдегид),

**Спектральные характеристики и показатели констант кислотности  
в основном и возбужденном состояниях некоторых гваяцильных фенолов**

Соединение	$\tilde{\nu}_{abs}^{max}$	$\tilde{\nu}_{em}^{max}$	$\tilde{\nu}_{0-0}$	$pK_a$	$pK_a^*$
	см <sup>-1</sup>				
Гваякол	36443/34638	32712/32154	34577/33396	10,04	7,56
Креозол	35765/33818	32051/31066	33908/32442	10,40	7,32
Эвгенол	35790/33863	32061/30581	33926/32222	10,15	6,57
Изоэвгенол	33411/31887	29282/27129	31346/29508	10,11	6,25
Ванилин	32415/28769	23468/23901	27942/26335	7,40	4,02
Кониферилловый альдегид	29585/24807	21141/20479	25363/22643	7,94	2,23
Ванилиновый спирт	35958/34223	32247/29188	34102/31705	9,80	4,77
Ацетованилон	32982/29240	24492/24213	28737/26726	7,90	3,68

Примечание. В числителе приведены данные для нейтральной молекулы, в знаменателе для анионов.

демонстрируют наибольшую способность к кислотной ионизации в возбужденном состоянии, так же как и в основном состоянии. Тем не менее, помимо электроотрицательности *para*-заместителя, на процессы кислотной диссоциации фенолов в возбужденном состоянии значительное влияние оказывают и другие факторы. Так, очевидна взаимосвязь изменения  $pK_a$  при фотовозбуждении с длиной боковой цепи. Эвгенол и изоэвгенол, слабо отличающиеся по протолитическим свойствам от гваякола и креозола в основном состоянии, проявляют существенно большие кислотные свойства в возбужденном состоянии, аналогичный эффект наблюдается для ванилина и ацетованилона. Наиболее сильной кислотой из исследованных электронно-возбужденных соединений является кониферилловый альдегид, имеющий в *para*-положении к фенольной гидроксильной группе как пропановую цепочку с сопряженной двойной углерод-углеродной связью, так и карбонильную электроноакцепторную группу.

Основной причиной расхождения приведенных данных с имеющимися в литературе представляются ошибки в регистрации спектров флуоресценции на установках с мощными постоянными источниками излучения, применявшимися ранее, что приводило к значительному фоторазложению образцов и фотоокислению их растворенным кислородом (авторы ранних работ не использовали дегазацию раствора, отмечая, что присутствие растворенного кислорода не влияет на положение и интенсивность полос эмиссии). Использованный нами люминесцентный спектрометр оснащен импульсным ксеноновым источником света, интегральная мощность которого не превышает 20 Вт, что в значительной степени позволяет предотвратить развитие фотохимических процессов. Тем не менее, даже при относительно кратковременном воздействии УФ-облучения нами отмечено накопление сильно флуоресцирующих побочных продуктов в щелочных растворах гваякола, эвгенола и изоэвгенола, дающих полосы испускания в более длинноволновой области ( $\lambda^{max} > 350$  нм), маскирующие флуоресценцию исследуемого соединения. Данный факт объясняет и полное противоречие люминесцентных свойств модельных соединений лигнина, приведенных в работах [1, 4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлаков, В.М. Энергетика обменных процессов в лигнине. Спектрально-люминесцентные характеристики натронного лигнина и некоторых модельных соединений в молекулярной и ионизированной формах при температурах 295 и 77 К [Текст] / В.М. Бурлаков, Э.И. Чупка // Химия древесины. – 1982. – № 4. – С. 35–42.
2. Förster, T. Elektrolytische Dissoziation angeregter Moleküle [Text] / T. Förster // Zeitschrift für Elektrochemie. – 1950. – Bd. 54, N1. – S. 42–46.
3. Klessinger, M. Excited states and photochemistry of organic molecules / M. Klessinger, J. Michl. – VCH publishers, 1995. – 537 p.
4. Korschin, H. Protolytic dissociation of electronically excited phenols related to lignin [Text] / H. Korschin, R. Lunnalc, F. Sundholm // Suom. Kem. Tideon. – 1973. – Vol. 82, N1. – P. 8–14.
5. Lakowicz, J.R. Principles of fluorescence spectroscopy [Text] / J.R. Lakowicz. – New York: Kluwer, 1999. – 698 p.
6. Ragnar, M. pK<sub>a</sub>-values of guaiacyl and syringyl phenols related to lignin [Text] / M. Ragnar, C.T. Lindgren, N.-O. Nilvebrant // Journal of Wood Chemistry and Technology. – 2000. – Vol. 20, N 3, – P. 277–305.
7. Valeur, B. Molecular fluorescence. Principles and applications [Text] / B. Valeur. – Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2002. – 381 p.

Поступила 26.10.09

*N.S. Gorbova<sup>1</sup>, D.S. Kosyakov<sup>2</sup>, K.G. Bogolitsyn<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch, Russian Academy of Sciences<sup>2</sup>Arkhangelsk State Technical University**Protolytic Properties of Phenols Related to Lignin in Electronically Excited States**

The acidity constants of some guaiacylic phenols, modeling the lignin macromolecule structural fragments in electronically excited (pK<sub>a</sub><sup>\*</sup>) were obtained using the methods of electronic absorption and luminescence spectroscopy methods based on the Foerster cycle. A significant decrease of pK<sub>a</sub> values of lignin related phenols under photoexcitation correlating with the properties of para-substitute towards phenolic hydroxyl group is shown.

Keywords: lignin, phenols, electronically excited state, fluorescence, acidity constants.

---

УДК 547.992.3

**К.Г. Боголицын<sup>1</sup>, Т.А. Махова<sup>2</sup>, Т.Э. Скребец<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет

Махова Татьяна Анатольевна родилась в 1963 г., окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры химии и экологии в строительстве Архангельского государственного технического университета. Имеет 6 печатных работ в области применения «зеленых» растворителей, ионных жидкостей в химии растительного сырья.

E-mail: tatiana-makhova2008@yandex.ru

Скребец Татьяна Эдуардовна родилась в 1955 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Архангельского государственного технического университета. Имеет более 90 научных работ в области химии древесины и ее компонентов.

E-mail: t.skrebets@agtu.ru



### **ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОКСАНЛИГНИНА В АЦЕТАТЕ 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ\***

Методом вискозиметрии исследованы гидродинамические свойства растворов диоксанлигнина ели в ацетате 1-метил-3-бутилимидазолия; определена конформация макромолекулы лигнина в ионной жидкости; показана возможность применения ацетата 1-метил-3-бутилимидазолия в химии лигнина.

*Ключевые слова:* гидродинамические характеристики лигнина, конформация, ионная жидкость, вискозиметрия.

В целях изучения физико-химических свойств лигнинов широко используют такие органические растворители, как диметилсульфоксид (ДМСО), диметилформамид (ДМФА), диоксан, пиридин, обладающие рядом недостатков, несовместимых с требованиями «зеленой» химии: они летучи, пожаро- и взрывоопасны, токсичны.

В последние годы возрос интерес к новому классу растворителей, называемых ионными жидкостями (ИЖ).

Ионные жидкости – это соли, имеющие температуру плавления ниже 100 °С. Для фундаментальных и прикладных исследований огромный интерес представляют [1] ИЖ с температурой плавления ниже комнатной, так как они очень удобны для применения в качестве растворителей.

Основное направление использования ИЖ в химии растительного сырья – растворение древесины и целлюлозы [6–10, 12]. Это обусловлено уникальными свойствами ИЖ – высокой полярностью, электропроводно-

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 09-03-12310-офи\_м).

стью, совместимостью с другими органическими соединениями и возможностью варьировать свойства в зависимости от строения молекулы. ИЖ привлекательны и с технологической точки зрения, так как они находятся в жидком состоянии в широком диапазоне температур, имеют низкое давление паров и не загрязняют атмосферу, негорючи и термостабильны.

Анализ литературных данных показал, что практически не затронут вопрос применения ИЖ в качестве растворителей для изучения свойств лигнинов.

Цель данной работы – исследовать гидродинамические характеристики лигнина в ионной жидкости ацетат 1-бутил-3-метилимидазолия

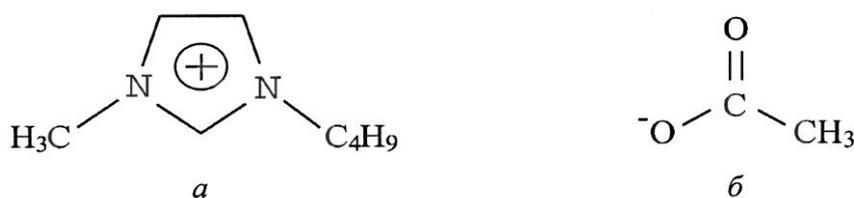


Рис. 1. Структурная формула ацетата 1-бутил-3-метилимидазолия:  
*a* – катион; *б* – анион

([BMIM][CH<sub>3</sub>COO]) (рис. 1).

Выбор данной ИЖ обусловлен тем, что ацетат 1-бутил-3-метилимидазолия обладает селективным растворяющим действием по отношению к лигнину: растворимость лигнина при комнатной температуре составляет  $(12,4 \pm 0,1)$  % масс., целлюлоза в этих условиях практически не растворяется [11].

ИЖ использовали без дополнительной очистки с предварительным высушиванием над P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Характеристики ацетата 1-бутил-3-метилимидазолия торговой марки BASIONIC BC02 приведены ниже.

Молекулярная масса.....	198,26
Вязкость при температуре, °С:	
25.....	393,3 мПа·с
80.....	22,4 мПа·с
Плотность при температуре, °С:	
25.....	1,0550 г/см <sup>3</sup>
80.....	1,0192 г/см <sup>3</sup>
Температура плавления.....	-20 °С
«  воспламенения.....	435 °С

Электрохимическое окно..... (-2,3/+0,8)В  
 Электропроводность..... 1100 мкС·м/см

В работах [2, 4, 5] установлены характеристические полосы поглощения [BMIM][CH<sub>3</sub>COO] в ИК- и УФ-областях спектров, рассчитана энергия активации вязкого течения ИЖ (49,33 кДж/(моль·К)), определены температурные зависимости показателя преломления, плотности, абсолютной вязкости, поверхностного натяжения в диапазоне температур 25...50 °С.

Диоксанлигнин (ДЛ), выделенный из древесины ели по методу Пеппера, с использованием стандартных методик охарактеризован по функциональному и элементному составу (%): -ОСН<sub>3</sub> – 15,62; -СООН – 0,87; -СО – 5,66; ОН<sub>общ</sub> – 3,12; -ОН<sub>фен</sub> – 1,88; С – 61,16; Р – 5,43; О – 33,41.

По химическим характеристикам выделенный препарат ДЛ не отличается от аналогичных препаратов, описанных в литературе.

Фракционирование ДЛ проводили методом дробного осаждения в системе диоксан (растворитель) – бензол (осадитель). Молекулярные массы исходного лигнина ( $M_w$  – 16700;  $M_w/M_n$  – 1,44) и фракций определены методом скоростной седиментации на ультрацентрифуге MOM-3180 в двухсекторной полиамидной кювете с образованием искусственной границы.

Вязкость  $\eta$  растворов ДЛ в ИЖ и ДМСО измеряли в капиллярном вискозиметром Уббелодде (диаметр капилляра соответственно 2,10 и 0,54 мм). Характеристическую вязкость  $[\eta]$  ДЛ и фракций определяли линейной экстраполяцией зависимости приведенной вязкости  $[\eta]_{уд}/C$  (где  $[\eta]$  – характеризует вязкость;  $C$  – концентрация ДЛ) к бесконечному разбавлению, выполненному в соответствии с известным уравнением Хаггинса и учетом поправки на плотность растворов.

Изучение гидродинамических свойств полимеров в органических растворителях позволяет установить наличие химического сродства между компонентами, форму макромолекулы, термодинамическое качество растворителя и структуру раствора. Для растворов лигнина хвойных пород в органических растворителях характерны низкие значения  $[\eta]$ , которая определяется формой и размерами макромолекулярного клубка в растворителе.

Исследование растворов ДЛ в [BMIM][CH<sub>3</sub>COO] методом вискозиметрии показало, что, начиная с определенной для каждой температуры

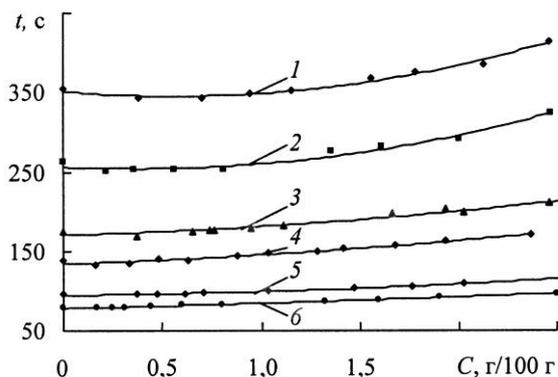


Рис. 2. Зависимость времени истечения растворов ДЛ в [BMIM][CH<sub>3</sub>COO] от его концентрации при различной температуре, °С: 1 – 25; 2 – 30; 3 – 35; 4 – 40; 5 – 45; 6 – 50

концентрации лигнина в растворе, время истечения  $t$  раствора становится меньше времени истечения растворителя. При этом, чем выше температура  $T$ , тем ниже пороговая концентрация  $C$  (рис. 2, 3).

Это можно объяснить с точки зрения изменения первоначальной структуры ИЖ. При введении малых количеств лигнина, являющегося по своей природе электролитом, полиэлектролитное взаимодействие ИЖ–лигнин вызывает разрыв водородных связей в структуре ИЖ, проявляющийся в понижении вязкости системы. Дальнейшее повышение концентрации лигнина в растворе интенсифицирует процессы сольватации и образования макромолекулярных ассоциатов.

Последнее повышает вязкость раствора. Рост температуры также приводит к разрушению первоначальной структуры ИЖ и увеличению подвижности образующихся ассоциатов.

Таким образом, традиционный подход к изучению гидродинамических свойств лигнина в ИЖ возможен для растворов, имеющих концентрацию больше пороговой в соответствующем диапазоне температуры. Учитывая это, характеристическую вязкость ДЛ в [ВММ][CH<sub>3</sub>COO] определяли в диапазоне температур 25...50 °С (рис. 4, а). Полученная зависимость показывает, что при  $T > 35$  °С лигнин ведет себя в ИЖ так же, как в классическом растворителе, в качестве которого был использован ДМСО (рис. 4, б).

При  $T < 35$  °С использование традиционных методик определения характеристической вязкости невоз-

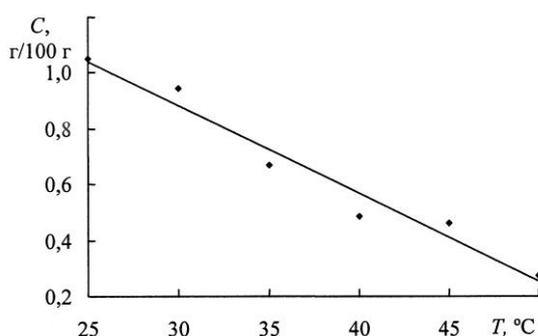


Рис. 3. Зависимость пороговой концентрации ДЛ в [ВММ][CH<sub>3</sub>COO] от температуры ( $y = -0,0315x + 1,82$ ;  $R^2 = 0,96$ )

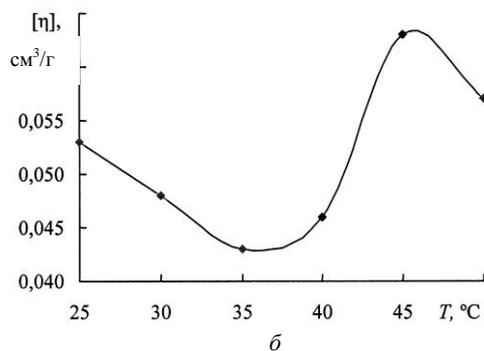
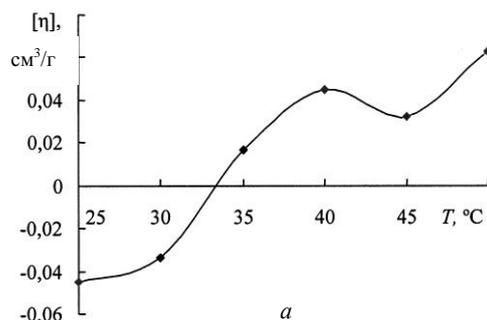


Рис. 4. Зависимость характеристической вязкости растворов ДЛ в ИЖ [ВММ][CH<sub>3</sub>COO] (а) и ДМСО (б) от температуры

можно, поскольку  $[\eta]$  становится отрицательной величиной.

Гидродинамический радиус макромолекулы лигнина в ДМСО и ИЖ рассчитывали по уравнению Эйнштейна (табл. 1):

$$r^3 = \frac{30M_w[\eta]}{\pi N_A}, \quad (1)$$

где  $r$  – эффективный гидродинамический радиус макромолекулы (радиус Эйнштейна), нм;

$M_w$  – молекулярная масса полимера;

$[\eta]$  – характеристическая вязкость раствора, см<sup>3</sup>/г;

$N_A$  – число Авогадро.

Как видно из данных табл. 1, в диапазоне температур 35..50 °С характеристическая вязкость и гидродинамический радиус лигнина являются величинами одного порядка для растворов ДЛ как в ДМСО, так и в ИЖ и указывают на относительно высокую плотность и компактность макромолекул, что характерно для хвойных лигнинов.

Таблица 1

Гидродинамические характеристики ДЛ в ДМСО и [ВММ][СН<sub>3</sub>СОО]

Температура, °С	ДЛ – ДМСО		ДЛ – ИЖ	
	$[\eta]$ , см <sup>3</sup> /г	$r \cdot 10^9$ , м	$[\eta]$ , см <sup>3</sup> /г	$r \cdot 10^9$ , м
25	5,30	2,42	–	–
30	4,84	2,33	–	–
35	4,38	2,25	1,65	1,63
40	4,56	2,30	4,48	2,28
45	6,28	2,55	3,20	2,04
50	5,95	2,47	6,05	2,54

Зависимость  $[\eta]$  от молекулярной массы полимера обычно выражают уравнением Марка–Куна–Хаувинка, которое позволяет сделать вывод о конформационных превращениях лигнина в растворах:

$$[\eta] = K_\eta M^\alpha. \quad (2)$$

Для системы ДЛ – ДМСО в уравнении (2) получены следующие скейлинговые параметры:  $K = 4,81 \cdot 10^{-3}$ ,  $\alpha = 0,26$ . Коэффициенты  $K$  и  $\alpha$  показывают, что макромолекулы ДЛ в растворах находятся в конформации непротекаемого клубка.

Для проверки справедливости этого уравнения для растворов ДЛ в ИЖ были установлены гидродинамические параметры фракций ДЛ в ионной жидкости (табл. 2).

Значения характеристической вязкости растворов фракций в ИЖ получены при температуре 50 °С. При более низких температурах время истечения растворителя ИЖ, растворов ДЛ и фракций в ИЖ велико вследствие повышенной вязкости растворов. Как видно из табл. 2, зависимость  $[\eta]$

от  $M_w$  слабо выражена (фракции 2–5). Это свидетельствует о том, что молекулы лигнина имеют примерно одинаковую форму.\*

Таблица 2

## Характеристическая вязкость фракций ДЛ в ИЖ

Образец	$M_w$	$[\eta]_{50}$ , см <sup>3</sup> /г
Исходный ДЛ	16 700,0	5,95
Фракция ДЛ в ИЖ:		
1	28 606,0	7,33
2	17 017,0	3,53
3	10 689,0	3,65
4	7 511,1	3,86
5	4 898,5	2,34

Примечание. Для системы ДЛ – ДМСО характеристическая вязкость составляет 6,04 см<sup>3</sup>/г.

Прямолинейность зависимости  $\lg[\eta]$  от  $\lg M$  для ДЛ в ИЖ говорит о соблюдении принципа масштабной инвариантности в диапазоне измеренных молекулярных масс, что позволило вычислить скейлинговые параметры  $K = 2,90 \cdot 10^{-2}$ ,  $\alpha = 0,52$  и сделать вывод, что макромолекулы ДЛ в ИЖ находятся в конформации набухшего непротекаемого клубка.

Макромолекулярный клубок в разбавленных растворах в определенных условиях можно рассматривать как фрактальный объект. Анализ фрактальных свойств полимеров позволяет получить дополнительную информацию о структуре и свойствах сложных макромолекул.

Метод расчета фрактальной размерности  $d_f$  основан на определении гидродинамических характеристик, в частности характеристической вязкости и взаимосвязи между молекулярной массой, коэффициентом Хаггинса и массовой фрактальной размерностью, характеризующей плотность макромолекулярного клубка [3].

Значение фрактальной размерности ДЛ в ИЖ ( $d_f = 1,97$ ), рассчитанное из уравнения

$$[\eta] = K_{\eta} M^{3/(d_f-1)},$$

подтверждает наш вывод о конформации макромолекулы лигнина в ионной жидкости [ВММ][СН<sub>3</sub>СОО].

Таким образом, гидродинамическое поведение ДЛ в ИЖ при температуре выше 35 °С оказалось подобным поведению растворов лигнина в классическом органическом растворителе ДМСО. Следовательно, для системы ДЛ–[ВММ][СН<sub>3</sub>СОО] применимо уравнение Марка–Куна–Хаувинка, выражающее взаимосвязь характеристической вязкости с молекулярной массой. Отличие состоит в том, что в ДМСО макромолекулы ДЛ образуют

\* Авторы выражают благодарность д-ру. хим. наук А.П. Карманову, канд. хим. наук В.Ю. Беляеву и Д.В. Кузьмину (Институт химии Коми НЦ УрО РАН) за помощь в организации эксперимента.

более плотные, чем в [BMIM][CH<sub>3</sub>COO], клубки, близкие к сферам Эйнштейна.

Таким образом, ионную жидкость ацетат 1-метил-3-бутилимидазолия можно использовать в качестве альтернативного растворителя при изучении поведения лигнина в растворах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланов, Л.А. Ионные жидкости в ряду растворителей [Текст] / Л.А. Асланов, М.А. Захаров, Н.Л. Абрамычева. – М.: МГУ, 2005. – 272 с.
2. Боголицын, К.Г. Физико-химические свойства ацетата 1-бутил-3-метилимидазолия [Текст] / К.Г. Боголицын, Т.Э. Скребец, Т.А. Махова // ЖОХ. – 2009. – Т. 79. – Вып. 1. – С. 128–131.
3. Карманов, А.П. Самоорганизация и структурная организация лигнина [Текст] / А.П. Карманов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 269 с.
4. Bogolitsyn, K.G. Application of imidazolium-based ionic liquids in chemistry of lignin [Text] / K.G. Bogolitsyn T.E. Skrebets, T.A. Makhova // 2nd International IUPAC Conference on Green Chemistry: book of abstracts. – MSU, 2008. – P. 329.
5. Bogolitsyn, K.G. Application of ionic liquids as solvents in lignin chemistry [Text] / K.G. Bogolitsyn, T.E. Skrebets, T.A. Makhova // Proceedings 10th EWLP, Stockholm, Sweden, 25–28 August 2008. – P. 153–156.
6. Dissolution of cellulose with ionic liquids [Text] / R. Swatloski [et al.] // J. Am. Chem. Soc. – 2002. – Vol. 124. – P. 4974–4975.
7. Dissolution of cellulose with ionic liquids and its application: a minireview [Text] / S. Zhu [et al.] // Green Chem. – 2006. – Vol. 8. – P. 325–327.
8. Honglu, X. Wood liquefaction by ionic liquids [Text] / X. Honglu, S. Tiejun // Holzforschung. – 2006. – Vol. 60. – P. 509–512.
9. Kilpelanen, I. Dissolution of wood in ionic liquids [Text] / I. Kilpelanen, H. Xie, A. King // J. Agric. Food Chem. – 2007. – Vol. 55. – P. 9142–9148.
10. Kosan, B. Dissolution and forming of cellulose with ionic liquids [Text] / B. Kosan, C. Michels, F. Meister // Cellulose. – 2008. – Vol. 15. – P. 59–66.
11. Makhova, T.A. Application of ionic liquids in lignin chemistry [Text] / T.A. Makhova, K.G. Bogolitsyn, T.E. Skrebets // Abstracts X International Conference on the problems of solvation and complex formation in solutions, Suzdal, 1–6 July, 2007. – Vol. I. – P. 287.
12. Pat. WO 2005/017252 PCT/AU2004/001093.

Поступила 21.09.09

*K.G. Bogolitsyn<sup>1</sup>, T.A. Makhova<sup>2</sup>, T.A. Skrebets<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch, Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Arkhangelsk State Technical University

#### **Study of Dioxanlignin Hydrodynamic Characteristics in 1-buthyl-3-methylimidazolium Acetate**

Hydrodynamic properties of spruce dioxanlignin solution in 1-buthyl-3-methylimidazolium acetate are investigated by a viscosimetry method. The lignin macromolecule conformation in the ionic liquid is determined. The possibility of using 1-buthyl-3-methylimidazolium acetate in the lignin chemistry is demonstrated.

Keywords: hydrodynamic characteristics of lignin, conformation, ionic liquid, viscosimetry.

---

---

УДК 547.992.3

**И.В. Сумерский, С.М. Крутов, А.В. Пранович, М.Я. Зарубин**

С.-Петербургская лесотехническая академия

Сумерский Иван Викторович родился в 1984 г., окончил в 2007 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры органической химии СПбГЛТА. Имеет 10 печатных работ в области химии лигнина.

E-mail: masterVAN@rambler.ru



Крутов Степан Минович окончил в 1966 г. Ленинградскую лесотехническую академию, профессор кафедры органической химии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Имеет более 120 научных работ по различным направлениям химии древесины.

E-mail: ftaorgchem@yandex.ru



Пранович Андрей Викторович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, доцент Университета Або Академия и факультета химической технологии и биотехнологии С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 100 научных публикаций.

E-mail: apranovi@abo.fi



Зарубин Михаил Яковлевич родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор химических наук, профессор С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, академик Международной академии наук о древесине, заслуженный деятель науки РФ, председатель Совета экспертов по химии растительных ресурсов при ЮНЕСКО. Имеет более 300 научных трудов в области органической химии и химии древесины.

E-mail: fta-zarubin@mail.ru



## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛИЗНЫХ ЛИГНИНОВ МЕТОДОМ DFRC

Определены оптимальные условия применения метода DFRC для исследования гидролизных лигнинов Тавдинского, Кировского и Лобвинского предприятий; показана перспективность этого метода.

*Ключевые слова:* технический гидролизный лигнин,  $\beta$ -эфирная связь, бромистый ацетил, метод DFRC.

Ранее нами [3, 4] методом дериватизации с последующим восстановительным расщеплением (DFRC) были изучены модельные соединения и препараты лигнина.

Цель данной работы – исследовать технические гидролизные лигнины (ТГЛ) методом DFRC.

Условия проведения эксперимента и анализа полученных продуктов изложены в предыдущей работе [3].

ТГЛ были предоставлены Кировским, Лобвинским и Тавдинским

гидролизными предприятиями. Образцы первых двух предприятий были получены сразу же после их выработки, третий образец был взят из отвалов Тавдинского завода. Образцы ТГЛ обладали повышенной влажностью и содержали небольшое количество непровара, поэтому они были высушены при комнатной температуре и просеяны через сита. Установлено, что все образцы обладали схожим фракционным составом. Относительное содержание частиц с размерами  $< 0,25$ ;  $0,25 \dots 0,50$  и  $> 1,00$  мм составляло соответственно 84,3; 14,7 и 1,1 %. Фракции  $< 0,25$ ;  $0,25 \dots 0,50$  были дополнительно измельчены (без нагрева) и подвергнуты дальнейшему исследованию.

Содержание зольных и экстрактивных веществ, лигнин Класона (в модификации Комарова) и остаточные полисахариды (содержание редуцирующих веществ (РВ) эбулиостатическим методом) были определены по стандартным методикам [1]. Общая характеристика ТГЛ приведена в таблице.

Как видно из представленных в таблице данных, образцы ТГЛ содержат большое количество сопутствующих веществ (зольные вещества; экстрактивные вещества, или смолы; остаточные полисахариды).

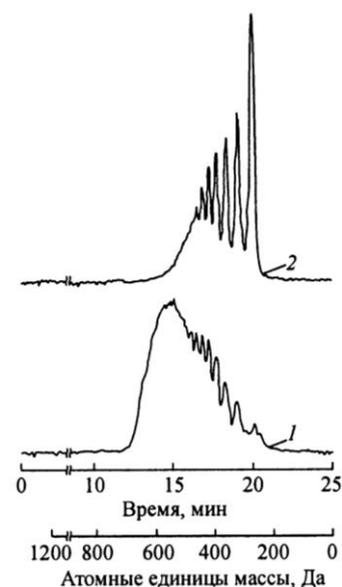
Показатель	Значения показателя*, %, для ТГЛ		
	Тавдинского	Кировского	Лобвинского
Зольность	3,5	3,5	0,6
Экстрактивные вещества	15,4	14,3	18,0
Лигнин Класона	59,8	67,0	52,3
Остаточные полисахариды	24,8	18,7	29,7

\*В пересчете на абс. сухое вещество

Следует отметить, что экстрактивные вещества сравнительно легко извлекаются из ТГЛ методом экстракции в аппарате Сокслета спирто-толуольным раствором (1 : 2) без побочных процессов, приводящих к изменению химического строения лигнина. При этом извлечение остаточных полисахаридов из ТГЛ без какого либо воздействия, приводящего к изменению химического строения лигнина, затруднительно [2]. Для дальнейших исследований применяли только проэкстрагированный ТГЛ.

Для определения оптимальной концентрации ацетилбромид (AcBr) в ледяной уксусной кислоте (AcOH) были проведены две обработки проэкстрагированного Кировского ТГЛ по методике, приведенной в работе [5]. Использовали растворы AcBr двух концентраций: 8 и 20 %. Выход продуктов расщепления в опытах с разной концентрацией AcBr был схож и достигал примерно 70 %. Методом эксклюзионной ВЭЖХ были исследованы молекулярно-массовые характеристики продуктов расщепления Кировского ТГЛ.

Из приведенных на рис. 1 хроматограмм видно, что при концентрации AcBr 8 % (хроматограмма 1) выход низкомолекулярных соединений больше, чем при 20 % (2), но, несмотря на это, для дальнейших исследований строения ТГЛ было принято решение приме-



нять 20 %-е растворы, так как используемый АсВг, как мы полагаем, в значительной степени расходуется на разрыв гликозидных связей остаточных полисахаридов ТГЛ.

Для определения оптимального времени обработки 20 %-м раствором АсВг по методу DFRC были обработаны ТГЛ Кировского, Лобвинского и Тавдинского заводов в течение 1, 2, 3, 10, 20, 30 и 40 ч. На каждый эксперимент брали примерно по 100 мг каждого образца лигнина. Все опыты повторяли в одинаковых условиях при температуре 50 °С. Для примера на рис. 2 представлены результаты, полученные в течение 1...40 ч, при обработке 20 %-м раствором АсВг.

Из представленных на рис. 2 графиков видно, что с увеличением времени обработки ТГЛ до 20 ч возрастает выход продуктов расщепления. При дальнейшем увеличении времени обработки выход продуктов расщепления Тавдинского и Лобвинского ТГЛ возрастает незначительно, для Кировского ТГЛ отмечено некоторое снижение этого показателя.

Все образцы продуктов расщепления ТГЛ были подвергнуты ацелированию по стандартной методике и исследованы количественно и качественно соответственно методами ГЖХ и ХМС.

Результаты ГЖХ в сочетании с ХМС показали, что в продуктах расщепления всех исследованных ТГЛ преобладают компоненты деструкции углеводов. На рис. 3 представлена хроматограмма и структурные формулы преобладающих продуктов расщепления ТГЛ Тавдинского завода после 40-часовой обработки.

Количественная оценка проб, продуктов расщепления ТГЛ, полученных при 20-, 30- и 40-часовых обработках, показала, что доля веществ углеводной природы составляет приблизительно 50 %.

Рис. 1. Эксклюзионные ВЭЖХ-хроматограммы продуктов расщепления Кировского

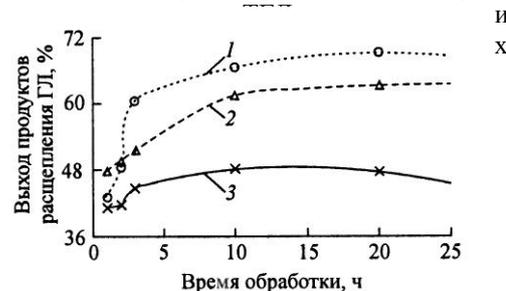
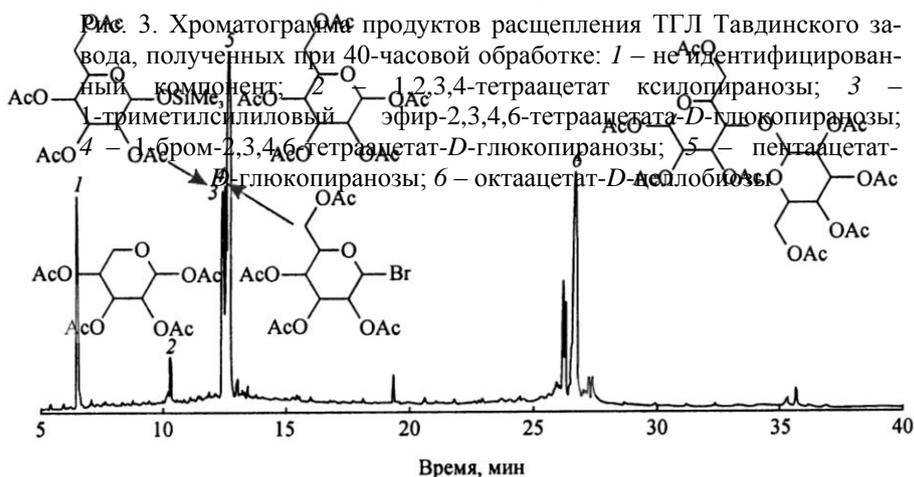


Рис. 2. Выход продуктов расщепления в зависимости от времени обработки технических гидролизных лигнинов 20 %-м раствором АсВг в АсОН при температуре 50 °С: 1 – Тавдинский ТГЛ, 2 – Лобвинский ТГЛ, 3 – Кировский ТГЛ



Мы предполагаем, что продукты расщепления, не элюирующиеся из хроматографической колонки в условиях ГЖХ-анализа, являются относительно высокомолекулярными ароматическими соединениями. Предварительные исследования содержания лигнина Класона и РВ в образцах ТГЛ подтверждают это предположение (см. таблицу).

Методом эксклюзионной ВЭЖХ были изучены и молекулярно-массовые характеристики продуктов расщепления ТГЛ (рис. 4). ВЭЖХ-хроматограммы продуктов расщепления ТГЛ Кировского, Лобвинского и Тавдинского заводов оказались схожими. Из представленных хроматограмм видно, что с увеличением времени обработки 20 %-м раствором АсВг возрастает количество веществ с меньшей молекулярной массой. Для всех трех исследованных ТГЛ процесс расщепления останавливается при достижении времени обработки 20...30 ч. На ВЭЖХ-хроматограммах продуктов расщепления ТГЛ, полученных при 20-, 30- и 40-часовых обработках, можно выделить 3 группы веществ с молекулярными массами 300...400, 400...480 и 480...540.

На основании анализа результатов ГЖХ и ХМС первую группу веществ предположительно можно отнести к углеводной составляющей продуктов расщепления ТГЛ (низкомолекулярный пик), вторая и третья группы, мы полагаем, являются ароматическими продуктами расщепления ТГЛ.

На основании эксклюзионных ВЭЖХ-хроматограмм установлено различие в составе продуктов расщепления, полученных по методу DFRC из ТГЛ и препарата лигнина (II)\*, полученного из лигнина Бьеркмана в условиях, приближенных к условиям промышленного гидролиза древесины. Это подтверждают и результаты ана-

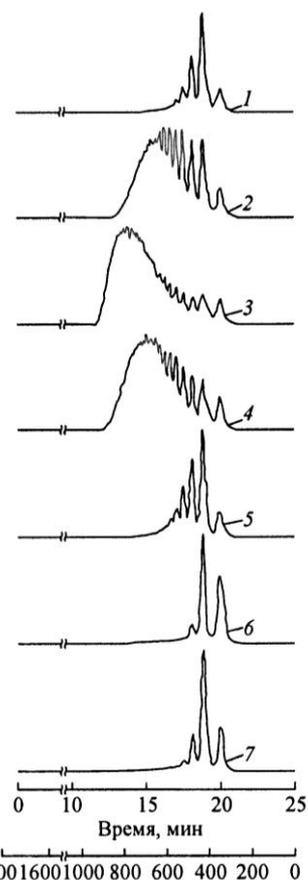


Рис. 4. Эксклюзионные ВЭЖХ-хроматограммы продуктов расщепления Кировского ТГЛ, полученные при различном времени обработки: 1 – 1 ч; 2 – 2; 3 – 3; 4 – 10; 5 – 20; 6 – 30; 7 – 40 ч

\*Исследован нами в предыдущей работе [3].

лиза продуктов расщепления методами ГЖХ и ХМС, показавшие что приблизительно половину продуктов расщепления всех исследованных ТГЛ, полученных при 20-, 30- и 40-часовых обработках, составляют вещества углеводной природы. Сопоставляя выходы продуктов расщепления из препарата лигнина (II) и ТГЛ, можно сделать вывод, что выход продуктов расщепления ароматической природы из ТГЛ приблизительно в 2 раза ниже, чем из лигнина (II). На основании этого можно предположить, что строение ТГЛ и препарата лигнина (II) в некоторой степени отличается. По-видимому, это связано с тем, что обработка последнего в условиях, приближенных к условиям промышленного гидролиза древесины, проводилась в отсутствие углеводных компонентов и экстрактивных веществ, содержащихся в древесине.

#### Выводы

1. Показано, что максимальный выход продуктов расщепления с наибольшей степенью деструкции ТГЛ Кировского, Лобвинского и Тавдинского заводов наблюдается при 20-часовой обработке 20 %-м раствором АсВг.

2. Предположительно ТГЛ Кировского, Лобвинского и Тавдинского заводов состоят из близких по строению структурных фрагментов, на что указывает большое сходство эксклюзионных ВЭЖХ-хроматограмм продуктов расщепления исследованных образцов лигнина, полученных по методу DFRC.

3. Доказана перспективность метода DFRC для изучения технических гидролизных лигнинов. Обработка образцов проводится в относительно мягких условиях и приводит к образованию низкомолекулярных соединений, исследуя состав которых можно получить дополнительные данные о лигнине.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оболенская, А.В.* Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы [Текст] / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. – М.: Экология, 1991. – 320 с.

2. *Сарканен, К.В.* Лигнины (структура, свойства, реакции) [Текст] / К.В. Сарканен, К.Х. Людвиг. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 632 с.

3. *Сумерский, И.В.* Исследование модельных соединений и препаратов лигнина методом DFRC [Текст] / И.В. Сумерский, С.М. Крутов, А.В. Пранович, М.Я. Зарубин // Лесн. журн. – 2010. – № 1. – С. 122–129. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Сумерский, И.В.* Расщепление  $\beta$ -эфирных связей модельных соединений лигнина бромистым ацетилом [Текст] / И.В. Сумерский, С.М. Крутов, М.Я. Зарубин // Изв. СПбГЛТА. – Вып. № 186.

5. *Lu, F.* Derivatization Followed by Reductive Cleavage (DFRC Method), a New Method for Lignin Analysis: Protocol for Analysis of DFRC Monomers [Text] / F. Lu, J. Ralph // J. Agric. Food Chem. – 1997. – N 45. – С. 2590–2592.

Поступила 24.08.09

*I.V. Sumersky, S.M. Krutov, A.V. Pranovich, M.Ya. Zarubin*  
Saint-Petersburg State Forest-Technical Academy

**Investigation of Hydrolyzed Lignin by Method of DFRC**

---

The optimal conditions of using DFRC method are determined for investigation of hydrolyzed lignins of Tavda, Kirov, Lobva hydrolyzed mills. The advanced character of this method is demonstrated.

Keywords: technical hydrolyzed lignin,  $\beta$ -ether connection, acetyl bromide, DFRC method.

---



## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 624.011.1

*Е.Н. Серов<sup>1</sup>, А. Е. Серов<sup>1</sup>, Б.В. Лабудин<sup>2</sup>, Р.Б. Орлович<sup>3</sup>, С.А. Лабутов<sup>1</sup>*<sup>1</sup>С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет<sup>3</sup>Щецинский политехнический институт

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 100 научных работ в области клееных деревянных конструкций и учета анизотропии при оценке их прочности.

Тел.: 8 911 754 17 84



Серов Александр Евгеньевич родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Ленинградский инженерно-строительный институт, главный инженер проекта ОАО «Спецпроектреставрация». Имеет 5 печатных работ в области инженерной реставрации памятников истории и архитектуры г. С.-Петербурга.

Тел.: 8 921 762 59 30



Лабудин Борис Васильевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций и архитектуры Архангельского государственного технического университета. Имеет более 140 печатных работ в области разработки, исследования и внедрения клееных деревянных конструкций, совершенствования расчета пространственно-регулярных систем с учетом податливых связей, физической и геометрической нелинейности материалов и узлов сопряжения.

E-mail: labudin@rambler.ru



Орлович Р.Б. окончил в 1972 г. Брестский инженерно-строительный институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общего строительства и деревянных конструкций Щецинского политехнического института. Имеет около 200 научных работ в области строительных конструкций.

E-mail: polkin\_jc@mail.ru



Лабутов Сергей Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант кафедры конструкций из дерева и пластмасс СПбГАСУ. Имеет 3 печатные работы в области строительных конструкций.

Тел.: 8 911 953 62 02



## К ВОПРОСУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КУПОЛА ТРОИЦКОГО СОБОРА\* В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Доказана необходимость воссоздания сгоревшего в 2006 г. купола Собора Святой Животворящей Троицы лейб-гвардии Измайловского полка (г. Санкт-Петербург) в современных деревянных конструкциях, в том числе из клееной древесины.

\* Во время реставрационных работ 28.08.2006 г. в С.-Петербурге сгорел большой деревянный купол Собора Святой Живоначальной Троицы лейб-гвардии Измайловского полка.

*Ключевые слова:* Троицкий собор, ребристый купол, геометрическая неизменяемость, пространственная система, диагностирование, поверочные расчеты.

Троицкий Собор – один из самых величественных православных храмов России, построен в 1828–1835 гг. по проекту архитектора В.П. Стасова и инженера М.Е. Кларка; курировал строительство сам император Николай I. Сначала большой купол Собора был запроектирован и возведен в металлических конструкциях, однако 23 февраля 1834 г. на строительстве почти законченного собора главный купол был сорван сильным ветром [1, 5]. Комиссия пришла к единогласному выводу, что причинами аварии были конструктивные решения (недостаточная связь ребер между собой, слабое закрепление их на капитальной стене, высоко расположенный центр тяжести системы за счет большой массы фонаря с крестом, что «при малейшем движении системы» (при ветре) создавало дополнительный опрокидывающий момент – «произвело перевес и способствовало сорванию купола») [1, 5].

Новый проект купола было поручено выполнить Корпуса инженеров путей сообщения генерал-лейтенанту П.П. Базену. Уже в мае 1834 г. он разработал проект усовершенствованной оболочки в металле. В результате обсуждения этого варианта конструкции комиссия пришла к выводам, послужившим причиной приказа «немедленно заняться составлением другого проекта стропил ... из сухого дерева ...» [5]. Единственной альтернативой было признано возведение купола из древесины сосны. 9 июня 1834 г. П.П. Базен представил в Комиссию проектов и смет вариант купола в дереве. Комиссия нашла проект «не только соответствующим своей цели во всех отношениях, но и весьма замечательным по новой системе устройства» (рис.1)\* [1]. В комиссию, кроме В.П. Стасова, входили 14 крупных специалистов того времени, в том числе зодчие К.И. Росси, О.Р. Монферран, К.К. Тон, А.К. Кавос, А.П. Брюллов и др. [5]. Выводы комиссии были рассмотрены и одобрены Советом Главного управления путей сообщения и публичных зданий 27 июня 1834 г. Через три месяца купол был возведен, а в ноябре был закрыт медью и загрунтован.

Ребристый купол сформирован как поверхность вращения, описанная практически по кривой давления арки от распределенной вертикальной нагрузки. Совокупность всех фактических воздействий на покрытие, конечно, более сложная, однако создание такой стержневой конструкции из цельной древесины при отсутствии в тот период современных методов расчета таких циклически-симметричных систем свидетельствует о талантливости инженерных решений [3]. По величине пролета купол занимал первое место после утраченного покрытия внутреннего двора Хлебного рынка в Париже [1]. Как следует из записки И.Ф. Буттаца купол имел диаметр 24,8 м (81 фут 5 дюймов). Фактический, измеренный по наружному контуру ребер, диаметр оказался равным 26,4 м, а окружность диаметром 24,8 м проходит примерно по внешнему контуру внутренних (нижних) брусьев ребер. Каркас купола образован 32 криволинейными ребрами, состоящими из двух поясов, разнесенных между собой на 50 см в свету и на



Рис. 1

\* Рис. 1–3 – чертежи П.П. Базена (1834 г.).

75 см в осях (рис. 2). Пояса между собой соединены 21 парой схваток на стальных болтах диаметром 36 мм с врезкой этих схваток в полдерева, также в ребрах купола фактически имелась незначительная врезка – до 15...20 мм. Таким образом, в этой системе удачно был реализован закон концентрации материала, сформулированный более чем через 100 лет Н.С. Стрелецким [7]. Криволинейность поясов достигнута вытесыванием отдельных кружалин косяков длиной 426,6 см (2 сажени). Каждый пояс состоит из двух «плотно сомкнутых косяков», а конструкция ребра решена таким образом, что в любом его поперечном сечении работает три цельных косяка. «Этот способ составления ребер (в чертежах они названы связями) доставляет возможность расположить косяки таким образом, что соединения их концов в четырех рядах одного и того же ребра не соответствуют друг другу и находятся между схватками, и поэтому нет ни одного места по всей длине ребер, в котором бы не было трех цельных косяков» [1]. Конечно, вытесывание криволинейных косяков – скошенных брусков с поперечным сечением примерно 15×25 см (рис. 2) – сопряжено с наличием перерезанных волокон древесины, многоэлементностью заготовок, стыков и др. Наличие перерезанных волокон в косяках, особенно в растянутой зоне ребра, существенно снижает несущую способность сильно анизотропного материала, каковым является древесина. Из цельных брусьев 30×25 см (12×10 дюймов) ребра выполнены лишь на прямолинейных участках в приопорных зонах. Несущие ребра купола за весь период эксплуатации сохранились в хорошем состоянии, так как перед окончательной сборкой были антисептированы горячей каменноугольной смолой по всей длине, во всех сопряжениях и на торцах отдельных элементов. Лежни, в которые были «вделаны лапой» бруски ребер на нижней опоре, надежно фиксировались в гнездах кирпичной кладки аттика кирпичного барабана и «каменного свода» (см. рис.1, 2). Для предохранения от гниения лежни обмазывали смолой и оббивали войлоком.

Верхнее опорное кольцо купола – «венеч» имело диаметр 534,0 см (2,5 сажени). Поперечное сечение кольца шириной 29 см имело суммарную высоту около 1,2 м – 4 яруса (отдельных венца) по 30,5 см (1 фут) (рис. 3). Всего в кольце было 32 косяка – кружалины. Из-за большей, чем в ребрах купола, кривизны венца, каждый сегмент имел примерно в 2 раза меньшую длину (около сажени), чем косяки ребер оболочки. Непосредственно в кольцо упирались 24 ребра купола, а восемь главных проходили сквозь верхнее кольцо (в зоне стыкования половины кружалин), доходили почти до оси купола и упирались в висячую дубовую бабку. Диаметр нижней дубовой бабки (две другие располагались выше, в пространстве фонарика) в верхнем отрубе равен 81,4 см (3 фута), в восьмерике упора главных ребер расстояние между гранями (торцами диаметрально расположенных ребер) – 71,0 см (28 дюймов).

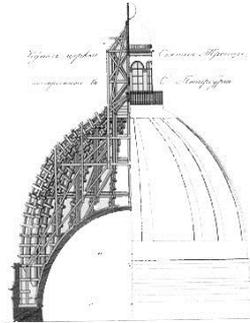


Рис. 2

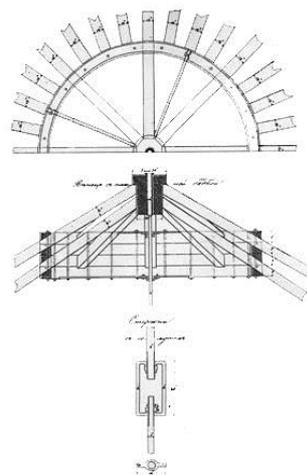


Рис. 3

Таким образом получено гениальное, с точки зрения эксплуатационной надежности, конструктивное решение, позволяющее перераспределить усилия с 24 рядовых ребер на 8 главных, имеющих более жесткую опору в зените, не достигаемую для прямого попадания влаги в случае утраты стекол в оконных проемах фонарика, т.е. компенсировались еще и влажностные деформации древесины верхнего опорного кольца.

Аналогичные приемы компенсации возможных обмятий материала использовались и в других местах. Например, диаметры отверстий под стяжные болты в кольце выполнены больше примерно на 1,0...1,5 мм. Уплотнения стыков сегментов по их торцам несколько уменьшили диаметр кольца, причем болты сместились в отверстия к наружному диаметру кольца. Их фиксированное положение при обмятиях обеспечивалось металлическими кольцами шириной 20 см и толщиной 5 см, врезанными в первый и четвертый венцы деревянного кольца. Обжатие венцов фиксационными кольцами, естественно, со временем ослабло вследствие периодически многократного набухания/высыхания древесины от увлажнения, а гайки на стяжных болтах никогда не подтягивались. Геометрическая неизменяемость кольца обеспечивалась высочайшей точностью выполнения лобовых упоров, наличием достаточного количества связей между рядовыми и главными ребрами, а также врубкой стоек жесткого каркаса фонарика в примыканиях к кольцу.

Возможные осадки фонарика компенсировались двумя мощными медными талрепами («хомутами с гайками») на центральном составном «железном» стержне. Он проходил сквозь нижнюю и среднюю дубовые бабки и через оба ряда горизонтальных связей («радиусов»), соединяясь у верхней длинной бабки с крестом. Все бабки имели поперечное сечение в виде восьмерки. Радиусы-связи находились не только во внутреннем пространстве фонарика, но и большого купола. Кроме поддержания жесткости ребер, они препятствовали их горизонтальным перемещениям на трех уровнях высоты купола. Третьи схватки (от нижних опорных узлов) были выполнены удлиненными – от аттика барабана до кирпичного свода. На уровнях четырнадцатого и восемнадцатого рядов схваток радиусы проходили от главных ребер до вертикальной оси купола. Между собой в диаметральном направлении они скреплялись с помощью металлических труб, пропускающих стержень подвески паникадила, и выпусков-лап для крепления концов радиусов. Радиусы для уплотнения и упора в трубы вытесывались в виде усеченных клиньев, так как диаметр труб был меньше диаметра дубовых бабок.

Высокую точность всех плотницких и монтажных работ, а также геометрическую неизменяемость всего покрытия, подтверждает отсутствие касания подвеса главной люстры Собора стенок гнезда, оставленного для него в теле кирпичного внутреннего купола.

Производителем работ (по возведению купола) был Корпуса инженеров путей сообщения г.-майор П.П. Мельников – профессор прикладной механики, впоследствии строитель Николаевской (Петербургско-Московской) железной дороги.

Для изготовления элементов и сборки ребер купола П.П. Мельников выполнил чертеж разреза купола в натуральную величину в развитие принципа инженерного решения в чертежах П.П. Базена – идеальный кондуктор на выстеленном из досок бойке, имеющем ширину 28 м и длину 32 м. Это позволило «с чрезвычайной точностью» сделать все необходимые шаблоны для различных частей покрытия. Большая часть элементов купола была заготовлена на земле. Для поднятия заготовок наверх в северо-западном углу церкви была устроена наклонная плоскость до верха аттика. Уменьшение трения при подъеме элементов достигалось созданием оптимального уклона с заложением основания в 2/5 высоты. Монтажные работы вели с подмостков (лесов), устраиваемых на уже выполненных рядах рам кольцевых связей,

которые располагались с шагом, равным длине косяков. Системы рамных связей с «радиусами» располагались на третьем, шестом, десятом, четырнадцатом и восемнадцатом рядах схваток. По мере продвижения монтажных работ вверх по поверхности купола рамы приобретали все больший уклон, уменьшающий горизонтальную проекцию, а соответственно, и ширину площадок для работы. Для опоры в подкупольном пространстве был использован кирпичный «свод». В целях равномерного распределения монтажных нагрузок на «свод» был положен деревянный венец, в который упирались стойки, связанные сверху другим венцом и служившие точками «упоры». Проектное положение косяков проверяли по координатным точкам, точность монтажных работ возведения каркаса купола – натяжением «бичевок» между диаметрными главными ребрами. Нити пересекались в одной точке, отвес из которой «упал в самую вершину каменного свода, где было сделано небольшое отверстие для утверждения паникадила». Эта точность сохранялась весь срок эксплуатации деревянного купола, несмотря на естественные перемещения при обмятиях сопряжений.

Вся пространственная система ребристого купола с радиусами, подкосами, схватками, висячими бабками и другими элементами позволяет отнести конструкцию покрытия к шедеврам деревянных сооружений прошлого.

Авторы считают, что наиболее опасным периодом для сохранности памятника были годы, когда его эксплуатировали не по назначению (в 1938 г. храм был закрыт и функционировал как склад Министерства связи СССР). Здание вместе с городом пережило революции и перенесло блокаду в период Великой Отечественной войны. От обстрелов особенно сильно пострадали купола и западный фасад храма [5]. В аттике большого купола была пробита брешь, часть обшивки сорвана и обнажены деревянные конструкции покрытия. В 1952–1956 гг. проведена реставрация здания по проекту архитекторов Д.И. Грекова, М.И. Толстова, Г.С. Толстой, в 1987 г. – ремонт фасадов, в 1998–2006 гг. – ремонт кровли, балюстрад и малых куполов. Об инженерной реставрации несущих конструкций большого купола сведений не обнаружено. В 1990 г. храм был возвращен С.-Петербургской епархии.

При диагностировании конструкций купола и проведении поверочных расчетов, выполненных в 2005–2006 гг. после 172-летней эксплуатации зданий, обнаружены дефекты в элементах верхнего опорного кольца («венца») и частично конструкции фонарика. Древесина кольца и фонарика, укрепленного с помощью парных длинных схваток на главных ребрах, оказалась сильно деструктированной деструктирующими грибами. Оконные проемы фонаря подолгу оставались без стекол (что видно по большой разнице закопченности стекол в переплетах), их вставляли через несколько лет). Вода, стекая по вертикальным (да и наклонным) элементам каркаса фонаря, надолго задерживалась в горизонтальных, (особенно в четырех) венцах верхнего кольца, состоящих из 32 кружалин.

Максимальные потери несущей способности древесины горизонтальных слоев кольца от гниения составили, %: в первом (нижнем) венце – 46, во втором – 42, в третьем – 56, в четвертом (верхнем) – 66. С учетом гнезд пересечения кольца главными ребрами и врубок для упора рядовых ребер суммарные потери живого поперечного сечения верхнего сжатого кольца составили, %: в первом венце – 62, во втором – 84, в третьем – 97, в четвертом – 57. Таким образом верхнее опорное кольцо купола находилось в аварийном состоянии и требовало срочного капитального ремонта. При этом целостность купола не была нарушена благодаря перечисленным выше инженерным решениям и прекрасно сохранившимся висячим дубовым бабкам [5].

После пожара в 2006 г. купол был укрыт временной кровлей для создания приемлемого температурно-влажностного режима в помещениях, обеспечена осушающая вентиляция и т.д. Авторы убеждены, что для сохранения целостности памятника, а не только его видимой грани (его силуэта), конструкции купола надо воссоздавать именно в дереве. Однако у спасения и сохранения сущности конструкций памятника и соблюдения принципа аутентизма, который, согласно документам ЮНЕСКО, является основополагающим критерием при восстановлении исторических зданий, были серьезные противники.

Основные доводы оппонентов: предмета охраны и объекта реставрации нет, он сгорел, воссоздавать купол, конструкции которого не видны, можно в любом материале; деревянный купол будет примерно в 2 раза дороже металлического; у нас нет хорошего леса, много времени займет его сушка; нет мастеров; на возведение купола из древесины потребуется 3...5 лет, а из металлических конструкций (МК) – всего 5 мес.; древесина не только менее долговечна, но и горит.

Приведенные оппонентами стоимостные данные исходных материалов противоречивы. Известно, что в конструкциях 1 м<sup>3</sup> клееной древесины равнозначен 1 т стали. Если принять стоимость древесины 3...5 тыс. р./м<sup>3</sup> и металла 22...32 тыс. р./т и учесть, что стоимость клееных деревянных конструкций (КДК) в 2,5–3 раза больше, чем конструкций из цельной древесины, то получим 9...15 тыс. р./м<sup>3</sup> против 22...32 тыс. р./т.

При использовании КДК можно избежать недостатков многоэлементных конструкций, перерезания волокон при вытесывании криволинейных косяков из толстых бревен. Технология изготовления КДК, предполагающая высокотемпературную сушку досок ( $t \approx 105$  °С), обеспечивает стерилизацию древесины. Склеивание позволяет повысить качество пиломатериалов путем вырезания крупных сучков и пороков с последующим сращиванием плетей (слоев, ламелей) на зубчатый шип.

Сроки службы деревянных конструкций (ДК) при грамотной эксплуатации составляют сотни и даже тысячи лет. Например, четыре тысячелетия ДК несли нагрузку в гробнице Тутанхамона.

Имеется отечественный опыт возведения куполов из КДК. Рынок в Волоколамске под Москвой, перекрытый куполом диаметром 30 м, служит уже более 30 лет. Около 20 лет тому назад в дер. Гостилицы Ломоносовского района Ленинградской области был перекрыт гараж для техники ребристым куполом диаметром 36 м. Более 25 лет успешно эксплуатируются стержневой геодезический купол диаметром 18 м в Архангельске и ребристый купол рынка из клееной древесины в г. Брест (Белоруссия).

В начале XXI в. в Подмоскowie построен ребристый купол диаметром 72 м, в Морском порту г. Санкт-Петербурга смонтирован каркас из КДК Балкерного терминала пролетом 61 м, длиной 304 м и высотой 44 м. Надо отметить, что в отличие от купола Троицкого Собора эти купола и плоская конструкция терминала опираются непосредственно на фундаменты.

Известно, что древесина горит, но предел огнестойкости массивных ДК примерно в 3 раза выше, чем у МК. Загораются сначала ограждающие конструкции – обрешетка, настилы, без них обходится редкая крыша по любым несущим конструкциям. В нашем трагическом пожаре тоже прежде сгорели «спички» лесов и обрешетки, а уж потом несущие ДК. Металлический крест, потеряв от температуры форму и способность нести даже свою массу в 2,4 т (150 пудов), падая, не пробил внутренний кирпичный свод, а плавно скатился по деревянным ребрам купола. От более страшной катастрофы Собор спасли именно несущие ДК купола.

Во многих технически развитых государствах массивные КДК не относят к пожароопасным, размер страховых полисов на них находится на уровне железобетонных конструкций. По данным Американского института строительства ежегодные потери США от пожаров составляют 885 млн долларов, а от коррозии металлов – 5,5 млрд долларов, т.е. в 6,2 раза больше [9]. Металлический купол с медной кровлей потребует защиты не только от обычной ржавчины, но и от электрохимической коррозии, а также не менее опасных температурных деформаций при температурных перепадах до 60 °С.



Рис. 4

Предлагая ту или иную конструкцию будущего купола, мы обязаны думать не только о собственной массе системы, возможностях кирпичной кладки стен, пострадавших от пожара, и фундаментах, но и о болотистых грунтах, которые в северной Пальмире уже сейчас существенно перегружены.

Восторжествовавший здравый смысл, который вытекает из интуиции и опыта [3], позволил выполнить конструкции купола Троицкого собора из клееной древесины. В настоящее время завершается его восстановление (рис. 4). Это разумная альтернатива прежнему куполу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буттац, И.Ф. Записка к чертежам купола церкви Святой Троицы, находящейся в Санкт-Петербурге [Текст] / И.Ф. Буттац. – СПб., 1835. – С. 21–34.
2. Деминов, А.Д. Состояние и пути дальнейшего развития производства и широкого внедрения деревянных клееных конструкций в строительстве [Текст] / А.Д. Деминов // Расширение применения деревянных клееных конструкций в строительстве: материалы Всесоюз. научн.-практ. конф. – М.: ЦНИИСК, 1983. – С. 5–17.
3. Лабудин, Б.В. Совершенствование клееных деревянных конструкций с пространственно-регулярной структурой [Текст]: моногр. / Б.В. Лабудин. – Архангельск: АГТУ, 2008. – 267 с.
4. Памятники архитектуры. Инженерные обследования. Вып. 1. Дом Пашкова. Большой театр [Текст] / Н.М. Алмазова [и др.] – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 240 с.
5. Петрова, Е.Н. Здание б. Троицкого Измайловского собора [Текст]: ист. справка / Е.Н. Петрова. – Л., 1947. – 48 с.
6. Серов, Е.Н. Проблемы сохранения целостности памятников архитектуры Санкт-Петербурга [Текст] / Е.Н. Серов // Жизнь и безопасность. – СПб., 1999. – С. 514–517.
7. Стрелецкий, Н.С. Основные сдвиги в воззрениях на работу конструкций [Текст] / Н.С. Стрелецкий // Стр-во и архитектура. – 1967. – № 10. – С. 37–40. – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Friebe Nene Holzbauweisen [Text]/Zentralblatt der Bauverwaltung. – 1910. – N 86. – S. 561–563.
9. Schwcishammer, W. Holzverwendung für Aufbau und Außenbekleidung in USA [Text] / W. Schwcishammer // Bauingenieur. – 1966. – N 10. – S. 418–419.

Поступила 28.11.08

*E.N. Serov<sup>1</sup>, A.E. Serov<sup>1</sup>, B.V. Labudin<sup>2</sup>, R.B. Orlovich<sup>3</sup>, S.A. Labutov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

<sup>2</sup> Arkhangelsk State Technical University

<sup>3</sup> Szczecin University of Technology

#### On Renovation of Wooden Structures of the Trinity Cathedral Dome in Saint-Petersburg

The necessity is proved for reconstitution of the Saint Life-giving Trinity Cathedral dome in Saint-Petersburg, burned-out in 2006, in modern wooden structures, including laminated wood.

Keywords: the Trinity Cathedral, ribbed dome, geometric unchangeability, spatial system, diagnosis, checking computation.



## ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 061.75

**МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ ВЕРЕСИН:  
ЭТАПЫ БОЛЬШОГО ПЛОДОТВОРНОГО ПУТИ**

12 февраля 2010 г. исполнилось бы 100 лет со дня рождения М.М. Вересина, известного ученого в области лесной генетики и селекции, кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Воронежской государственной лесотехнической академии (1910–1992 гг.)

Михаил Михайлович окончил Хреновской лесной техникум, а затем Воронежский лесохозяйственный институт. Более 50 лет он отдал лесной науке, в начале 1950-х годов заведовал кафедрой генетики и селекции ВЛХИ. В этот период и позднее в Воронежском и Учебно-опытном лесхозах на площади около 40 га под его руководством созданы крупнейшие в России географические культуры сосны из семян, полученных от сети лесных контрольно-семенных станций СССР. Им заложены также типологические культуры дуба, плантация карельской березы, семенные участки и плантации сосны обыкновенной, географические культуры ели; получены ценнейшие гибриды ореха грецкого с маньчжурским. Большой интерес представляют прививки пирамидального дуба, а также прививки кедра на сосну. Им выведены быстрорастущие и устойчивые гибриды тополя белого с осинкой, а гибридный тополь с тройным набором хромосом Э.С.-38 (Воронежский гигант) получил мировую известность.



Опытные культуры, созданные М.М. Вересиним, служат местом учебной практики студентов, работы аспирантов, экскурсий и семинаров отечественных и иностранных ученых. Эти посадки являются живым памятником селекционного лесоводства Центрального Черноземья.

Михаил Михайлович был эрудированным, интеллигентным человеком, хорошим педагогом. Его считают основателем курса «Лесная селекция и генетика», читаемого на лесохозяйственных факультетах вузов. Впервые готовится к изданию стенограмма лекций «Частная селекция древесных пород». Первая учебная программа по лесной селекции для студентов вузов была составлена М.М. Вересиним в 1966 г. Широко известны его монографии: «Столетний опыт лесоразведения в Савальском лесничестве», «Лесное семеноводство», «Леса воронежские», «Рассказы о лесах и деревьях», «Справочник по лесному селекционному семеноводству», «Отечественные лесоводы». Он опубликовал более 120 статей, положения, инструкции и наставления по лесному семеноводству и лесосеменному районированию в СССР.

М.М. Вересин очень внимательно относился к своим ученикам. Каждый аспирант, соискатель или дипломник четко представлял план работы. Под его руководством подготовлено и защищено несколько кандидатских и докторских диссертаций. Среди учеников и соискателей известные исследователи, профессора и доценты: В.И. Носков, Р.И. Дерюжкин, А.П. Царев, А.И. Сиволапов, С.М. Иванов, О.И. Беспаленко, Н.С. Русин, В.В. Иевлев, Циртаускас и др.

М.М. Вересин запомнился удивительным знатоком природы, выдающимся лесным селекционером. Михаил Михайлович – это пример настоящего ученого-лесоведа. Его труд отмечен шестью правительственными наградами.

Памяти М.М. Вересина была посвящена Всероссийская научно-практическая конференция, проведенная в ВГЛТА с участием иностранных представителей, опубликован сборник научных трудов и сборник воспоминаний об ученом.

*Ректорат и коллектив лесохозяйственного факультета  
Воронежской государственной лесотехнической академии*

*University administration and staff of Forestry faculty of Voronezh State Forestry Engineering Academy*

**Mikhail M. Veresin: Stages of Great Fruitful Way**



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630\*18(049.3)

*А.В. Хвостова*

Поморский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**ИНТЕРЕСНАЯ И ПОЛЕЗНАЯ КНИГА**

Вышла в свет монография Н.А. Бабича, О.С. Залывской и Г.И. Травниковой «Интродуценты в зеленом строительстве северных городов» (Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2008. – 144 с.). Книга адресована научным работникам, аспирантам и студентам. Однако она будет интересна и для более широкого круга читателей: всех, кто любит природу, кому безразлично современное состояние северных городов.

В начале книги приводится литературный обзор, в котором рассматриваются вопросы формирования городской среды: изменение природных компонентов, роль зеленых насаждений в создании комфортной среды обитания человека, функции пригородных лесов, опыт интродукции древесных растений на Севере.

Далее авторы дают характеристику района и объектов исследования – г. Северодвинска и его зеленых насаждений. Приводятся различные методики оценки состояния насаждений по различным показателям: зимостойкости, жизненности, адаптивной способности и т. д. Несомненным достоинством монографии является разработка методики комплексной оценки декоративности дендрофлоры в городских условиях. Авторы выделяют 10 категорий, характеризующих привлекательность древесных и кустарниковых пород, а также предлагают шкалу балльной оценки признаков от 0 до 5.

В следующих разделах обсуждаются вопросы фенологии и сезонного роста дендрофлоры; репродуктивные свойства интродуцентов, которые являются важнейшим показателем их адаптации к новым условиям обитания.

Большое внимание уделяется изучению санитарно-гигиенической роли арборифлоры. Рассматриваются такие показатели, как влияние зеленых насаждений на освещенность улиц; поглощение тяжелых металлов древесными породами; фильтрационная способность городских насаждений; фитонцидные свойства древесных и кустарниковых пород, наиболее фитонцидные виды рекомендуется использовать в озеленении при заселении новых городских районов, строительстве пансионатов, санаториев, больничных комплексов, при обустройстве рекреационных зон.

На основании проведенных исследований авторы предлагают расширить ассортимент древесных и кустарниковых растений, применяемых в озеленении северных городов, за счет интродуцентов, получивших наиболее высокую оценку декоративности. К ним относятся ель колючая, роза морщинистая, сирень венгерская и некоторые другие виды.

В книге собран очень ценный материал, ее украшением служат цветные иллюстрации.

*A.V. Khvostova*

Pomor State University named after M.V. Lomonosov

**Interesting and Useful Book**

---



## НЕКРОЛОГИ

## ПАМЯТИ ОЛЕГА МИХАЙЛОВИЧА СОКОЛОВА

25 апреля 2010 г. перестало биться сердце замечательного человека, президента Архангельского государственного технического университета, профессора, доктора химических наук, заслуженного деятеля науки РФ, почетного работника высшего образования России, который с 1987 г. по 2006 г. был ректором АЛТИ-АГТУ, председателем Совета ректоров вузов Архангельской области Олега Михайловича Соколова.

О.М. Соколов родился 3 апреля 1936 г. в Ленинграде. В 1960 г. с отличием окончил Ленинградский технологический институт ЦБП. Вся его дальнейшая жизнь связана с Архангельском. Он работал инженером-химиком на Архангельском ЦБК. Почти полвека Олег Михайлович трудился в АЛТИ-АГТУ: прошел путь от аспиранта до президента. В 1987 г. он стал ректором Архангельского лесотехнического института, получившего в 1994 г. во многом благодаря его усилиям статус технического университета. Коллектив АГТУ четырежды вверял судьбу вуза профессору Соколову, избирая его ректором.

Видный ученый и организатор науки, блестящий педагог и общественный деятель, долгие десятилетия служения Отечеству, науке и образованию он «спешил делать добро». Будучи человеком неординарным, ректор Соколов проявлял высочайший профессионализм, видение перспективы, выдержку, гуманизм и человеколюбие, был прекрасным управленцем. Он никогда не был удовлетворен успехами и не останавливался на достигнутом. Жизненным кредом Олега Михайловича было «честное партнерство». За 19 лет работы ректора Соколова главными его завоеваниями стали создание благоприятной, доброжелательной атмосферы в коллективе и безграничное доверие руководителей области, города, предприятий, отечественных и зарубежных ученых, партнеров по бизнесу.

Профессор О.М. Соколов создал широко известную научную школу по исследованию макромолекулярных реакций лигнина. Под руководством талантливого ученого плодотворно развивалось новое направление – обработка растительных материалов низкоэнтальной плазмой. Получены уникальные результаты, не имеющие аналогов в мире. Им опубликовано более 300 научных работ, в том числе 20 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами, 4 учебника для вузов и 4 монографии. Подготовлено более 20 кандидатов наук.

Действительный член РИА, РАЕН, Академии проблем качества РФ, президент Архангельского филиала Северо-Двинского отделения РИА, вице-президент Архангельского регионального отделения АПК РФ, член экспертно-аналитического координационного совета при администрации Архангельской области, первый вице-президент и председатель правления межрегионального Ломоносовского фонда, он много сделал для развития науки и образования в России и на Севере. О.М. Соколов трудился и на научно-издательском поприще. На протяжении почти 20 лет он был главным редактором «Лесного журнала».

За заслуги в развитии науки и высшей школы О.М. Соколов награжден медалями и многочисленными грамотами, знаком «Изобретатель СССР», нагрудным знаком «Почетный работник высшего образования России», Золотым Почетным знаком Национального фонда России «Общественное признание», ему присвоено почетное звание «Заслуженный инженер России».

Память о талантливом руководителе – признанном лидере, видном ученом, блестящем педагоге и общественном деятеле сохранится в наших сердцах. Дело всей его жизни продолжают коллеги и благодарные ученики.

*Ректорат и коллектив  
Архангельского государственного технического университета,  
редколлегия и редакция «Лесного журнала»*

**In memory of Oleg Mikhailovich Sokolov**

*University administration and Arkhangelsk State Technical University, editorial board  
and editorial staff of «Lesnoi Zhurnal».*

---