

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

6/324

2011

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

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**

Заместители главного редактора:

д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. Бабич**, д-р хим. наук **К.Г. Боголицын**

Ответственный секретарь – **Р.В. Белякова**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, 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» № 6/324

Подписной индекс 70368

Редактор Л.С. Окулова

Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой

Перевод Н.А. Зайцевой

Графическое оформление В.А. Титовой

Сдан в набор 30.01.2012. Подписан в печать 12.03.2012. Заказ № 58
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,485. Усл. кр.-отг. 13,485.
Уч.-изд. л. 18,217. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

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

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

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2011



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, Н.Н. Николаева.</i> Влияние обеспеченности бором на рост <i>Betula pendula</i> Roth var. <i>carelica</i> (Mercklin) Hämet-Ahti, <i>Betula pendula</i> Roth и <i>Betula pubescens</i> Ehrh.	7
<i>В.М. Ивонин, В.В. Таниюкевич.</i> Оценка ресурсов лесных полос на сельхозугодьях Ростовской области.....	17
<i>А.В. Грязькин, В.В. Петрик, В.Н. Смертин.</i> Динамика состояния древостоев в крупнейшем парке Санкт-Петербурга.....	23
<i>Н.Н. Панкратова.</i> Выбор и обоснование видов использования лесов по приоритетности.....	32
<i>С.Н. Тарханов, С.Ю. Бирюков.</i> Поврежденность деревьев разных морфологических форм сосны в низовье Северной Двины при аэротехногенном загрязнении.....	40
<i>Ю.А. Фролов, А.А. Сабанин, С.Н. Штрахов, В.Ф. Корольчук.</i> Исследование влияния подсорочки с различными веществами на выход деловых сортиментов.....	47

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Ю.А. Ширнин, В.И. Чернякевич.</i> Расчет изгибающих моментов в плитах лесовозных дорог при пластических деформациях грунтового основания.....	50
<i>С.А. Чудинов.</i> Производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектrolита.....	58
<i>М.А. Тарасова.</i> Многокритериальная оптимизация и повышение эффективности работы лесопромышленного комплекса.....	62

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>В.Г. Новоселов, И.Т. Рогожникова.</i> Экспериментальное исследование изменения шероховатости обработанной поверхности в процессе фрезерования древесины.....	70
<i>Л.С. Суровцева, А.В. Старкова.</i> Эффективность производства древесных топливных гранул.....	76

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Материалы Международной конференции «Физикохимия растительных полимеров»

<i>А.В. Ладесов, Д.С. Косяков, К.Г. Боголицын.</i> Метилсульфат 1-бутил-3-метил-имидазолия – новый растворитель лигноцеллюлозных материалов.....	81
<i>А.И. Андреев, С.Б. Селянина, Н.И. Богданович.</i> Характеристика сорбционных свойств сульфатного лигнина.....	88
<i>И.М. Бабкин, О.С. Бровко, Ю.Г. Хабаров, В.А. Вешняков, М.В. Труфанова.</i> Влияние нитрозирования на поверхностную активность лигносульфоновых кислот.....	94

<i>В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский.</i> Фракционный состав по длине штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги. Методы определения.....	101
<i>Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова, С.И. Третьяков.</i> Определение состава этанольного экстракта бересты.....	107
<i>А.И. Смирнова, А.Б. Дягилева.</i> Механизм формирования органоминеральных структур на основе сульфатного лигнина и алюмосодержащих компонентов.....	112
<i>А.Л. Белоглазова, Н.Р. Попова, К.Г. Боголицын.</i> Окисление феруловой кислоты пероксидом водорода с использованием в качестве катализатора ванадомолибдофосфата натрия	119
<i>А.С. Смолин, Р.О. Шабиев.</i> Комплексные исследования электроповерхностных явлений в гидросуспензиях растительных волокон.....	124
<i>М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Ю.А. Саврасова.</i> Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов.....	134
<i>Е.М. Кашина, А.В. Малков, К.Г. Боголицын.</i> Определение содержания тяжелых металлов в древесине методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии.....	140
Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2011 г.	144



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.P. Chernobrovkina, E.V. Robonen, N.N. Nikolaeva.</i> Effect of boron on the growth of <i>Betula pendula</i> Roth var. <i>carelica</i> (Mercklin) Hämet-Ahti, <i>Betula pendula</i> Roth и <i>Betula pubescens</i> Ehrh.	7
<i>V.M. Ivonin, V.V. Tanyukevich.</i> Evaluation of Forest Belts Resources on the Agroforestry Areas in the Rostov Region.....	17
<i>A.V. Gryazkin, V.V. Petrik, V.N. Smertin.</i> Changes in the Stand State in the Largest Park of St. Petersburg.....	23
<i>N.N. Pankratova.</i> Selection and Justification of the Priorities of Forest Utilization...	32
<i>S.N. Tarkhanov, S.Yu. Biryukov.</i> Damage of Different Morphological Forms of the Pine Growing in the Lower Reaches of the Northern Dvina River in the Course of Aerotechnogenic Pollution.....	40
<i>Yu.A. Frolov, A.A. Sabanin, S.N. Shtrakhov, V.F. Korolchuk.</i> Investigation of Tapping Effect with Various Chemicals Used on the Yield of Commercial Assortments.....	47

WOODEXPLOITATION

<i>Yu.A. Shirnin, V.I. Chernyakevich.</i> Computation of Bending Moments in the Slabs of Forest Roads in Case of Foundation Plastic Deformation Has Been Performed..	50
<i>S.A. Chudinov.</i> In-process Testing of the Grounds Reinforced with Portland Cement Containing Polyelectrolyte Additive.....	58
<i>M.S. Tarasova.</i> Multicriteria Optimization of the Forest Sector Effectiveness Increase.....	62

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>V.G. Novoselov, I.T. Rogoshnikova.</i> Experimental Investigation of Wood Surface Roughness Variation During Milling.....	70
<i>L.S. Surovtseva, A.V. Starkova.</i> Wood Pellets Production Effectiveness.....	76

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

*Materials of the international conference
“Physical Chemistry of the Plant Polymers”*

<i>A.V. Ladesov, D.S. Kosyakov, K.G. Bogolitsyn.</i> 1-Butyl-3-methylimidazolium Methylsulfate – New Solvent of Lignocellulosic Materials.....	81
<i>A.I. Andreev, S.B. Selyanina, N.L. Bogdanovich.</i> Description of Sorption Properties of Kraft Lignin.....	88
<i>I.M. Babkin, O.S. Brovko, J.G. Khabarov, V.A. Veshnyakov, M.V. Trufanova.</i> The Effect of Nitrosation on Surface Active of Lignosulfuric Acids.....	94
<i>V.V. Kovalenko, N.V. Sysoeva, V.K. Dubovoy, A.I. Bezlakovskiy.</i> Fractional Composition Along the Length of Staple Glass Fibers which are Used in Paper-Making Production. Measuring Methods.....	101
<i>E.N. Koptelova., N.A. Kutakova., S.I. Tretyakov.</i> Determination of Ethanol Extract of Birch Bark.....	107

<i>A.I. Smirnova, A.B. Diagileva.</i> Obtaining Organic-Mineral Structure on the Basis of Technical Lignin and Alum-Containing Components.....	112
<i>A.L. Beloglazova, N.R. Popova, K.G. Bogolitsyn.</i> Oxidation of Ferulic Acid by Hydrogen Peroxide using Sodium Vanadomolybdophosphate as a Catalyst.....	119
<i>A.S. Smolin, R.O. Shabiev.</i> The Complex Study of Electrosurface Phenomena of Plant Fibers Hydrosuspensions.....	124
<i>M.G. Beletskaya, N.I. Bogdanovich, L.N. Kuznetsova, Y.A. Savrasova.</i> Methods of Thermochemical Activation in the Process of Activated Carbon Synthesis from Technical Lignin.....	134
<i>E.M. Kashina, A.V. Malkov, K.G. Bogolitsyn.</i> Determination of Heavy Metals Content in Wood by X-ray Fluorescence Spectroscopy.....	140
Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2011.....	144



Н.П. Чернобровкина^{1,2}, Е.В. Робонен², Н.Н. Николаева²

¹Петрозаводский государственный университет

²Институт леса Карельского НЦ РАН

Чернобровкина Надежда Петровна родилась в 1950 г., окончила в 1972 г. Калининский государственный университет, доктор биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений Петрозаводского государственного университета, старший научный сотрудник Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 90 печатных работ в области физиологии древесных растений и лесовосстановления.
E-mail: chemobrovkina@krc.karelia.ru



Робонен Елена Вильямовна родилась в 1951 г., окончила в 1975 г. Петрозаводский государственный университет, ведущий физик Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 40 печатных работ в области физиологии древесных растений и лесовосстановления.
E-mail: er51@bk.ru



Николаева Надежда Николаевна родилась в 1968 г., окончила в 1992 г. Санкт-Петербургскую лесотехническую академию, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 40 печатных работ в области ботаники и физиологии древесных растений.
E-mail: nnnikol@krc.karelia.ru



ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРОМ НА РОСТ *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh.

Изучено влияние внесения в почву борной кислоты на рост карельской березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) второго года жизни и накопление бора в их органах. Выявлены особенности использования бора карельской березой, березой повислой и пушистой.

Ключевые слова: минеральное питание, бор, рост, диагностика, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh.

Дефицит азота и бора оказывает большое влияние на рост и развитие древесных растений [19, 29]. Особенно значительно недостаток азота и бора ограничивает рост сеянцев при выращивании в открытом грунте, поскольку из почвы лесных питомников вместе с посадочным материалом ежегодно

изымаются и элементы минерального питания (ЭМП). Для эффективного внесения в почву ЭМП необходимы сведения о способах диагностики минерального питания растений. Ранее был предложен способ диагностики обеспечения азотом древесных растений по активности фермента глутаминсинтетазы в органах [19]. Способ позволяет определять точную дозу азотной подкормки, обеспечивающую максимальный прирост биомассы растений в конкретных климатических и экологических условиях. Способ точной диагностики обеспеченности бором древесных растений в настоящее время не разработан. Этот микроэлемент имеет очень узкий диапазон концентраций в почве, при котором он оказывает положительное влияние на рост древесных растений [11]. Одним из направлений исследований по выявлению критериев диагностики борного питания растений является изучение их физиолого-биохимических показателей в связи с различной обеспеченностью бором.

В растениях бор может находиться в свободной форме ($B(OH)_3$, $B(OH)_4^-$) и в виде комплексов с органическими соединениями. В клетке большая его часть представлена комплексными соединениями с пектиновым полисахаридом клеточной стенки – рамногалактуронатом–II и ионами металлов [25, 26]. Бор, в отличие от микроэлементов-металлов, не является компонентом или активатором ферментов, тем не менее, он оказывает влияние на метаболизм азотных и фенольных соединений, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот, ауксинов, а также на формирование структуры клеточных стенок и регуляцию процессов роста и развития растений [4, 5, 7, 8, 12, 16–20, 22–24, 27]. Ранее было исследовано влияние внесенных в почву доз борной кислоты на рост и накопление микроэлемента в органах семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) [5]. Было установлено, что влияние бора на эти показатели зависит от фона минерального питания, на котором выращиваются растения.

Береза, являющаяся ценной древесной породой естественных древостоев, выращивается и в посадках [10]. Наиболее распространенными в Европе и Сибири являются два вида березы – повислая и пушистая. Карельская береза большинством исследователей считается разновидностью или наследственной формой березы повислой. Ее древесина по рисунку напоминает мрамор и является декоративной, используется для изготовления ценной мебели, украшений, сувениров.

Цель данной работы – изучение влияния внесенных в почву доз борной кислоты на рост и накопление бора в органах карельской березы, березы повислой и пушистой в условиях низкого и оптимального фонов минерального питания в лесном питомнике.

Исследования проводили в условиях южной части Карелии, в лесном питомнике Петрозаводского лесхоза. Супесчаные почвы исследуемых участков характеризовались оптимальной для роста древесных растений кислотностью – $pH_{водн}$ 5,3. Для интенсивного роста саженцев лиственных древесных растений почвы бедны ЭМП. Содержание элементов, % от сухой почвы: азота – 0,15, фосфора – 0,21, калия – 0,11, кальция – 0,34, бора – 0,0009, меди – 0,06, марганца – 0,037, цинка – 0,013, кобальта – $7 \cdot 10^{-4}$, молибдена – $2 \cdot 10^{-5}$.

Объектом исследования были 2-летние растения карельской березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti), березы повислой (*Betula pendula* Roth) и пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.). В апреле было заложено 5 вариантов опыта: каждый вариант – на изолированном участке площадью 1 м², на каждом участке – по 9 растений. Борную кислоту в виде водного раствора вносили в почву в следующих дозах, г/м²: 0,03; 0,10, 0,30 и 1,00. В контроле борную кислоту в почву не вносили. Эксперимент проводили в условиях низкого (без дополнительного обеспечения макро- и микроэлементами) и оптимального фонов минерального питания. Для создания последнего за неделю до внесения в почву борной кислоты проводили подкормку растений макро- и микроэлементами в оптимальных для роста березы дозах [15]. Подкормку вносили в течение 2-х вегетационных периодов: в третьей декаде мая, перед распусканием листьев, и в третьей декаде июня, в период активного роста. Перед подкормкой почву рыхлили, после подкормки проводили полив водой (10 л/м²). В третьей декаде августа, по истечении двух вегетационных периодов от начала эксперимента, определяли содержание бора в органах растений, в октябре измеряли диаметр стволика у основания на расстоянии 3 см от корневой шейки.

Содержание бора в образцах почвы и растений определяли фотоколориметрически на фотоколориметре КФК-3 (Загорский оптико-механический завод (ЗОМЗ), Россия) с применением азометина [9]. Содержание азота в почве анализировали методом Кьельдаля, фосфора – фотоколориметрически молибдатным методом на КФК-3, калия – пламенно-фотометрическим методом на фотометре ПФМ-4 (ЗОМЗ, Россия) [2], остальных ЭМП – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре АА-6800 («Shimadzu», Япония) [1].

На рис. 1–3 приведены средние арифметические значения из 9-ти биологических повторностей и их стандартные ошибки. Подлежат обсуждению различия, значимые при $P \geq 0,95$.

Полученные результаты показали, что при выращивании березы второго года жизни в условиях лесного питомника в контроле (без внесения в почву борной кислоты) на двух фонах минерального питания (ФМП) содержание бора в органах карельской березы, березы повислой и пушистой было близким (см. рис. 1, 2). У 5-летней березы, а также у 2-летних сеянцев сосны обыкновенной также не было значительных различий в содержании бора по органам [4, 5]. Содержание бора в органах исследованных растений из контрольной группы составило 20,0...45,3 мг/кг сухого вещества. Для сравнения: содержание бора у 5-летних культур березы было ниже (8,1...17,3 мг/кг сухого вещества), несмотря на то, что почвы в месте их произрастания характеризовались более высоким уровнем этого микроэлемента [4]. В листьях 19-летней березы повислой в условиях посадок на песчаных почвах Финляндии содержание бора составило менее 10 мг/кг сухого вещества [28]. Таким образом, 2-летняя береза содержала больше бора, чем 5- и 19-летние при отсутствии значительных различий в уровнях микроэлемента в почве.

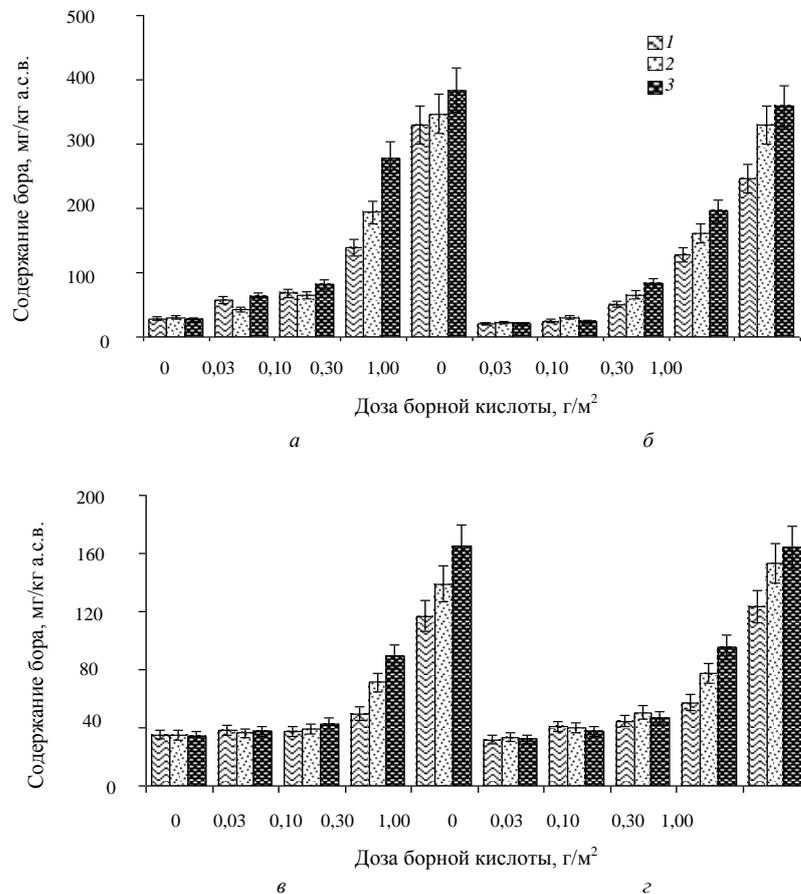


Рис. 1. Содержание бора в листьях (а, б) и корнях (в, г) березы в зависимости от внесенных в почву доз борной кислоты на двух ФМП: а, в – низкий ФМП; б, г – оптимальный; 1 – береза карельская, 2 – повислая, 3 – пушистая

Общепризнанно, что с возрастом содержание биогенных ЭМП в органах древесных растений понижается [10]. С увеличением возраста сосны обыкновенной уровень азотных соединений, растворимых углеводов в вегетативных органах снижается [21].

В контроле и при использовании 0,03 г борной кислоты на 1 м² почвы содержание бора в листьях березы в условиях низкого ФМП выше, чем в условиях оптимального (см. рис. 1). В литературе отмечается, что в обеспечении бором древесных растений большое значение имеют почвенные условия – повышенное содержание в почве ионов NH₄⁺, Fe⁺³, Al⁺³, увеличение рН почвы при известковании способствуют закреплению бора почвенными частицами [29]. Отмечалось, что хвоя сеянцев сосны обыкновенной, особенно к осеннему периоду, при использовании средних и высоких доз борной кислоты накапливает больше бора при дефиците ЭМП, чем при оптимальной обеспеченности растений элементами питания [5]. Для корней березы эта

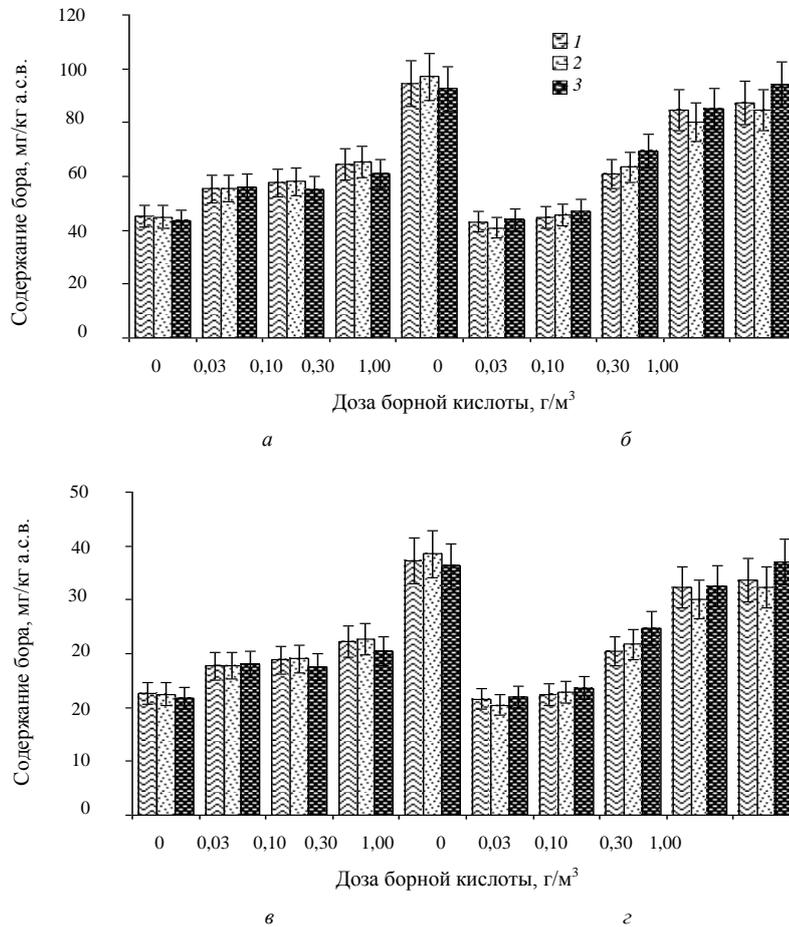


Рис. 2. Содержание бора в коре (а, б) и древесине (в, г) березы в зависимости от внесенных в почву доз борной кислоты на двух ФМП (см. обозначения на рис. 1)

тенденция не установлена, а для корней сеянцев сосны выявлена обратная закономерность. Одной из причин, объясняющих этот факт, может быть то, что при наличии достаточного количества ЭМП поступающий из почвы бор в большем количестве закрепляется в корнях, в то время как при дефиците ЭМП способность корней закреплять бор в своих тканях снижается, и он более активно поступает в надземные органы, преимущественно в ассимиляционный аппарат.

При внесении в почву первых двух доз борной кислоты отмечалось повышение содержания бора в органах березы (рис. 1, 2). Более значительно повышалось поступление бора в корни и листья для 3-й и 4-й доз. При использовании первых двух доз борной кислоты уровень бора в листьях и корнях максимально увеличивался по сравнению с контролем соответственно в 2,7 и 1,4 раза, для 3-й и 4-й доз – в 12,7 и 4,7 раз. Накопление бора в листьях и корнях березы пушистой происходило более интенсивно по сравнению

с березой повислой и, особенно, карельской, что может быть обусловлено видовыми особенностями использования бора березой. Выявлены также различия в жирнокислотном составе суммарных липидов почек березы пушистой и повислой, произрастающих в Карелии [3]. Предполагается наличие различных путей биохимической адаптации с участием ненасыщенных и низкомолекулярных жирных кислот у исследованных видов березы к неблагоприятным условиям Севера [3]. На основании сравнительных исследований углеводного состава органов березы различных видов определена роль сахаразы в регуляторных механизмах, определяющих аномальное развитие карельской березы [13]. Однако при изучении видовых особенностей азотного обмена у березы не обнаружено изменений в составе свободных аминокислот почек и листьев, связанных с видовой принадлежностью растений [6].

С увеличением внесенных в почву доз борной кислоты на двух фонах минерального питания в коре и древесине содержание бора повышалось в меньшей степени по сравнению с листьями и корнями (максимально в коре и древесине в 2,2 раза) (рис. 2). При этом в условиях низкого фона минерального питания при использовании первых трех доз борной кислоты содержание бора в коре максимально повышалось в 1,3 раза, а при использовании 4-й дозы – в 2,2 раза. Повышение уровня бора в коре березы в условиях оптимального ФМП происходило в соответствии с внесением в почву доз борной кислоты. Возможно, дефицит ЭМП ингибировал транспорт бора и лишь при высоком уровне обеспеченности бором он активно поступал в кору. Механизмы, обеспечивающие транспорт бора у растений, остаются слабо изученными. Установлено, что бор перераспределяется в некоторых видах растений [23]. Отмечается, что не известен другой такой элемент, имеющий столь различную подвижность у разных видов. На основании исследования локализации бора в молодой и старой хвое у сосны и ели предполагалось, что сосна перераспределяет бор, а ель – нет [24]. Позднее на основании того, что существует тенденция понижения концентрации бора в старой хвое при развитии новых побегов, было сделано предположение, что у сосны обыкновенной бор способен перемещаться по флоэме. Применение метода меченых атомов (^{10}B), позволило установить, что бор перемещается по флоэме от побегов к корням как у сосны, так и у ели, но в очень незначительных количествах [24].

Внесение в почву первых двух доз борной кислоты (0,03 и 0,10 г/м²) на двух фонах минерального питания повысило прирост диаметра стволиков за 2 вегетационных периода у березы максимально в 1,8 раза (рис. 3). Можно заключить, что береза в условиях лесного питомника испытывала дефицит бора для интенсивного роста на двух фонах минерального питания. В условиях оптимального фона минерального питания, в отличие от низкого, прирост диаметра стволика у березы повислой максимально повысился при использовании не 2-й (0,10 г/м²), а 3-й (0,30 г/м²) дозы борной кислоты. Также дополнительное обеспечение семян сосны обыкновенной ЭМП привело к повышению дозы борной кислоты, при которой отмечался их максимальный прирост [7].

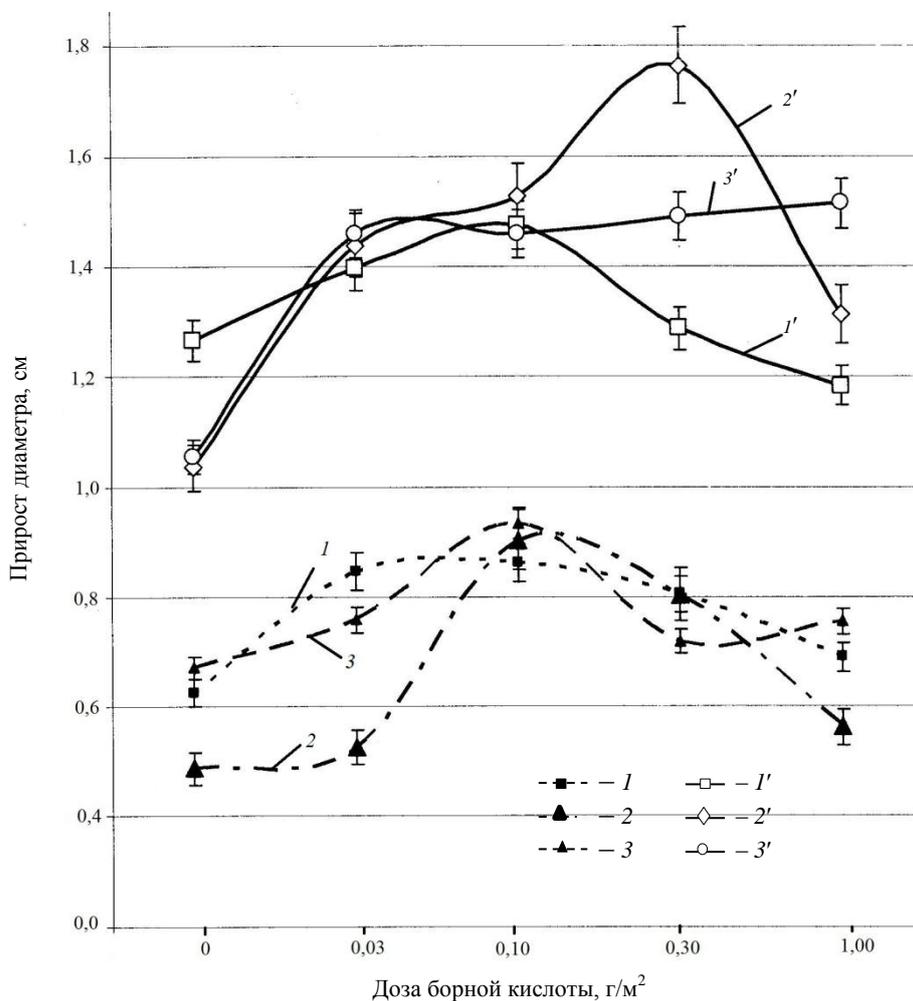


Рис. 3. Прирост диаметра стволика березы за два вегетационных периода в зависимости от внесенных в почву доз борной кислоты на двух ФМП: 1–3 – низкий; 1'–3' – оптимальный; 1, 1' – береза карельская, 2, 2' – повислая, 3, 3' – пушистая

В условиях низкого фона минерального питания 3-я и 4-я дозы (0,30 и 1,00 г м²) борной кислоты ингибировали рост растений – прирост диаметра стволика уменьшался по сравнению с вариантом с использованием 2-й дозы (0,10 г/м²) и оставался близким к уровню контрольных растений. При 4-й дозе (1,00 г/м²) края листьев приобретали характерное для избытка бора желто-бурое или темно-бурое окрашивание. В условиях оптимального фона минерального питания 3-я и 4-я дозы (0,30 и 1,00 г/м²) борной кислоты оказывали различное влияние на прирост диаметра стволика карельской березы, березы повислой и пушистой. У карельской березы этот показатель снижался,

как и в условиях низкого фона минерального питания. Прирост диаметра стволика березы повислой повышался при использовании 3-й дозы и значительно снижался при 4-й. У березы пушистой все четыре дозы борной кислоты стимулировали рост стволика по диаметру в условиях оптимального ФМП. Следует отметить, что внесение в почву 3-й и 4-й доз борной кислоты на оптимальном ФМП не привело к увеличению роста диаметра стволика карельской березы по сравнению с контролем, в то время как прирост диаметра стволика березы пушистой и повислой был выше контрольного варианта. Таким образом, дополнительное обеспечение ЭМП способствует реализации механизмов стимуляции роста растений (березы пушистой и повислой) даже при высокой (4-й) дозе борной кислоты, при которой отмечались признаки токсичности бора – желто-бурое или темно-бурое окрашивание листьев.

Сопоставление содержания бора в органах березы с влиянием обеспеченности растений микроэлементом на прирост диаметра стволика показало, что изменения в содержании бора в органах при внесении в почву первых двух доз борной кислоты приводят к повышению интенсивности роста растений. При этом содержание бора в листьях березы, при котором отмечается повышение ее роста, различно в зависимости от фона минерального питания. Поэтому содержание бора в листьях березы не может быть использовано в качестве показателя для диагностики обеспеченности бором древесного растения. По этой же причине уровень бора в хвое сеянцев сосны обыкновенной также не является показателем обеспеченности микроэлементом хвойного растения [5].

В заключение следует отметить, что в условиях лесного питомника при естественном содержании бора в почве 0,0009 % от сухой массы (в контроле) уровень его содержания в органах березы второго года жизни в расчете на единицу сухого вещества составил 20,0...45,3 мг/кг. В зависимости от наличия бора в почве и обеспеченности березы другими ЭМП содержание бора в органах может варьировать в широком диапазоне – от 16,9 до 384,0 мг/кг сухого вещества. Внесение в почву борной кислоты в количестве 0,03 и 0,10 г/м² стимулирует рост растений в условиях лесного питомника. Содержание бора в листьях березы, при котором отмечается максимальная интенсивность ее роста, на разных фонах минерального питания различно, что не дает возможности использовать этот показатель для диагностики обеспеченности бором древесных растений. Сопоставление статуса бора у исследованных растений показало, что в листьях и корнях березы пушистой при высоких дозах борной кислоты накопление бора происходит более интенсивно, чем у березы повислой и, особенно, карельской. Испытанные высокие дозы борной кислоты в условиях оптимального фона минерального питания не снижали интенсивность роста стволика по диаметру березы пушистой в отличие от карельской березы и повислой. Данные свидетельствуют о наличии особенностей использования бора карельской березой, березой повислой и пушистой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическое обеспечение мониторинга лесных экосистем // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем северо-запада России / В.А. Козлов [и др.]. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 278–285.
2. *Ариунушкина С.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1970. 487 с.
3. *Ветчинникова Л.В., Шуляковская Т.А., Канючкова Г.К.* Жирнокислотный состав суммарных липидов различных органов *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh., произрастающих в Карелии // Растительные ресурсы. 2000. Вып. 2. С. 85–92.
4. Влияние обеспеченности бором на рост и соотношение масс органов и тканей березы повислой / Н.П. Чернобровкина [и др.] // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика: материалы межд. конф., посвященной 60-летию КарНЦ РАН, 24–27 октября 2006 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 235–237.
5. Влияние обеспеченности бором на рост семян сосны обыкновенной / Н.П. Чернобровкина [и др.] // Лесоведение. 2007. № 5. С. 69–76.
6. Динамика содержания аминокислот в почках и листьях *Betula pubescens* и *B. pendula* (*Betulaceae*) в течение вегетационного периода / Т.А. Шуляковская [и др.] // Растительные ресурсы. 2007. Вып. 4. С. 87–94.
7. Жирнокислотный состав суммарных липидов хвои семян сосны обыкновенной в связи с обеспеченностью бором / Н.П. Чернобровкина [и др.] // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 3. С. 404–411.
8. *Ивонис И.Ю., Чернобровкина Н.П.* Влияние микроэлементов и гибберсина на рост и семеношение сосны обыкновенной // Лесоведение. 2002. № 3. С. 79–84.
9. *Иготти С.А.* Определение бора в органах хвойных и лиственных древесных растений // Сб. работ аспирантов и соискателей Ин-та леса. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. С. 31–36.
10. *Коновалов В.Ф., Чурагулова З.С.* Выращивание березы повислой в лесных питомниках республики Башкортостан // Science-bsea. Режим доступа: parod.ru/2002/Leskomp_2002/konovalov_vyug.htm
11. *Крамер П.Д., Козловский Т.Т.* Физиология древесных растений / пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.
12. Микроэлементы в обмене веществ растений / отв. ред. П.А. Власюк. К.: Наук. думка, 1976. 208 с.
13. *Новицкая Л.Л.* Карельская береза: механизмы роста и развития структурных аномалий. Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 2008. 144 с.
14. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н.И. Казимиров [и др.]. Л.: Наука, 1977. 304 с.
15. ОСТ 56-93–87. Питомники лесные постоянные. Технология выращивания посадочного материала в различных лесорастительных зонах. М.: Росгипролес, ВНИИЛМ, 1987. 36 с.
16. *Пузина Т.И.* Влияние сернокислого цинка и борной кислоты на гормональный статус растения картофеля в связи с клубнеобразованием // Физиология растений. 2004. Т. 51, № 2. С. 234–240.
17. *Рудакова Э.В., Каракис К.Д., Сидоршина Т.Н.* Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях. К.: Наук. думка, 1987. 186 с.
18. *Чернавина И.А.* Физиология и биохимия микроэлементов. М.: Высш. шк., 1970. 310 с.

19. Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
20. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.
21. Шуляковская Т.А., Канючкова Г.К., Шредерс С.М. Метаболизм сосны обыкновенной на разных этапах онтогенеза // Лесоведение. 1999. № 5. С. 63–69.
22. Boron in plant metabolism /W.M. Dugger [et al.] // Encyclopedia of Plant Physiology // New Ser. В. Heidelberg: Springer-Verlag, 1983. Vol. 15. P. 626–650.
23. Brown P.H., Shelp B.J. Boron Mobility in plants // Plant and Soil. 1997. Vol. 193, N 2. P. 85–101.
24. Lehto T., Kallio E., Aphalo P.J. Boron mobility in two coniferous species // Annals of Botany. 2000. N 86. P. 547–550.
25. Mätoh T., Kawaguchi S., Kobayashi M. Ubiquity of a borate-rhamnogalacturonan II complex in the cell walls higher plants // Plant Cell Physiology. 1996. Vol. 37, N 5. P. 636–640.
26. Matsunaga T., Ishii T. Characterization of metal binding properties of rhamnogalacturonan II from plant cell walls by size-exclusion HPLC/ICP-MS // Anal. Sci. 2004. Vol. 20. P. 1389–1393.
27. Mottonen M., Aphalo P.J., Lehto T. Role of boron in droughtresistance in Norway spruce (*Picea abies*) seedlings // Tree Physiology. 2001. Vol. 9, N 21. P. 673–681.
28. Rikala R., Vuorinen M. Koivikoiden booripitoisuuden ja kasvuhairioiden yhteyks // Puiden kasvuhairiot viljavilla kivennaismaillo. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy, 2004. N 934. P. 64–68.
29. Wikner B. Distribution and mobility of boron in forest ecosystems // Communications Institution Forestalis Fenniae. 1983. N 116. P. 131–141.

Поступила 10.02.2010

N.P. Chernobrovkina^{1,2}, *E.V. Robonen*², *N.N. Nikolaeva*²

¹Petrozavodsk State University

²Institute of Forestry, Karelian RC RAS

Effect of boron on the growth of *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh.

The effect of boric acid in the soil on the growth of second-year plants of curly birch (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti), silver birch (*Betula pendula* Roth) and downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.), and accumulation of boron in their parts has been studied. Distinctive patterns of boron take-up by curly birch, silver birch and downy birch have been identified.

Keywords: mineral nutrition, boron, growth, diagnostics, *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, *Betula pendula* Roth, *Betula pubescens* Ehrh.

УДК 630*232.33

В.М. Ивонин, В.В. Танюкевич

Новочеркасская государственная мелиоративная академия

Ивонин Владимир Михайлович родился в 1938 г., окончил в 1969 г. Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и лесных мелиораций Новочеркасской государственной мелиоративной академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 300 печатных работ в области экологии и лесной мелиорации.

E-mail: vadimlug79@mail.ru



Танюкевич Вадим Викторович родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Новочеркасскую государственную мелиоративную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесных мелиораций Новочеркасской государственной мелиоративной академии. Имеет более 20 печатных работ в области лесных мелиораций и экологии.

E-mail: vadimlug79@mail.ru



ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА СЕЛЬХОЗУГОДЬЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

По лесомелиоративным районам оценены ресурсы лесных полос (в возрасте спелости) аграрных ландшафтов Ростовской области: мелиоративный ресурс – 1 877 905,51 тыс. р., продуктивный – 5 057 294,99 тыс. р., природоохранный (депонирование углерода и продуцирование кислорода) – 3 074 295,81 тыс. р.

Ключевые слова: лесная полоса, лесомелиоративный район, мелиоративный ресурс, продуктивный ресурс, природоохранный ресурс.

Действующий Лесной кодекс (ст. 32, 34, 39) к лесным ресурсам относит недревесные, пищевые и др. ресурсы. В агролесомелиорации, при оценке ресурсов лесных полос на сельскохозяйственных угодьях, учитывают мелиоративный (прибавка урожая сельскохозяйственных культур), продуктивный (запас древесины) и природоохранный (продуцирование деревьями кислорода и депонирование углерода) ресурсы.

Целью исследований являлось изучение ресурсов лесных полос на сельскохозяйственных угодьях важного аграрного региона – Ростовской области.

Мелиоративный ресурс позволяет оценивать влияние лесных полос на урожайность сельскохозяйственных культур. Ресурс продуктивности важен для того, чтобы оценить запас древесины, которая находит все более широкое применение (производство щепы, древесных гранул и т.д.). Оценка природоохранного ресурса в последнее время также весьма актуальна. В связи с тем, что подобные оценочные работы для Ростовской области ранее не проводились, было затруднено экономическое обоснование полезного лесоразведения в регионе.

Исследования проходили с использованием материалов единовременной инвентаризации защитных лесных насаждений (2006 г.), проведенной администрацией Ростовской области при участии авторов.

Сельскохозяйственные угодья региона насчитывают 162 911,61 га защитных лесных насаждений, в том числе площадь полезащитных лесных полос составляет 125 761 га. Эти насаждения распределены по лесомелиоративным районам (ЛМР) следующим образом: Доно-Донецкий (сельхозугодья – 51,0 %, пашни – 52,6 %) – 87 842,81 га, в том числе полезащитные лесные полосы – 51 683,8 га; Приазовский (сельхозугодья – 16,8 %, пашни – 21,4 %) – 38 713,32 га, в том числе полезащитные лесные полосы – 38 656,72; Нижне-Донской (сельхозугодья – 7,2 %, пашни – 7,3 %) – 7 071,69 га, в том числе полезащитные лесные полосы – 6 671,58 га; Сальско-Маньчский (сельхозугодья – 25,0 %, пашни – 18,7 %) – 29 283,79 га, в том числе полезащитные лесные полосы – 28 748,76 га.

Оценку ресурсов лесных полос проводили, основываясь на принципах, рекомендованных ООН и адаптированных к условиям России [6].

При оценке мелиоративного ресурса расчеты вели при следующих ограничениях. Для Доно-Донецкого и Приазовского ЛМР среднюю ширину лесных полос принимали равной 12 м, для Нижне-Донского и Сальско-Маньчского – 18 м. Норматив прибавки урожая (озимая пшеница) определен по данным ВНИАЛМИ [4], средний урожай озимой пшеницы за 2003–2007 гг. для 43 административных районов Ростовской области – по данным Росстата (2008 г.). Дальность мелиоративного влияния лесных полос в возрасте спелости главных пород находили по методике [2]. Продовольственное зерно озимой пшеницы 3-го класса оценивали на 22.10.08 г. Затраты на уборку дополнительной продукции принимали равными 3,5 % от соответствующей выручки.

Итоговые площади лесных полос на сельхозугодьях по ЛМР вычисляли как сумму площадей полезащитных и прибалочных лесных полос с наиболее распространенными главными породами: дуб низкоствольный (Д н/с), робиния (Рб), вяз приземистый (Вп), ясень (Яс), гледичия (Гл) и тополь (Тп). При этом не учитывали лесные полосы из сосен обыкновенной и крымской, кленов ясенелистного и полевого, а также других главных пород, занимающих менее 5 % общей площади.

При оценке ресурсов продуктивности отбирали типичные лесные полосы в рамках ЛМР. Типичность определяли при анализе материалов лесоинвентаризации на ПК в среде Microsoft Office Excel 2003 (проанализированы данные для лесных полос сельхозугодий на площади 162 911,61 га). Таксационные особенности лесных полос уточняли, используя собственные полевые исследования. В типичных лесных полосах, придерживаясь ОСТ 56-69–83, было заложено 19 пробных площадей. На пробных площадях проводили пересчетную таксацию деревьев, по результатам которой определяли средние высоты и диаметры стволов, густоту, вид лесополосы, запас и состав насаждений и др. показатели. Полученные таксационные данные использовали для выбора модельных деревьев, после чего, в соответствии с принятыми в таксации методиками, разделяли стволы для изучения их хода роста.

Ставки платы за единицу объема древесины насаждений принимали по Ростовско-Волгоградскому лесотаксовому району (Постановление Правительства РФ № 310 от 22.05.2007 г.). При этом считали, что 70 % запаса составляет деловая средняя древесина, 30 % – дровяная при 2-м разряде такс. Затраты на восстановительные рубки лесных полос принимали по экспертным оценкам.

Природоохранный ресурс лесных полос в возрасте спелости косвенно оценивали при пересчете запасов в общие биомассы с использованием соответствующих коэффициентов [3, 5]. В итоге суммарную биомассу пересчитывали на депонированный углерод (коэффициент 0,50) и продуцированный кислород (коэффициент 1,37) по [1]. Себестоимость производства 1 т кислорода принимали по интернет-ресурсу (режим доступа: [htt:gpteh.ru/pcislorod](http://gpteh.ru/pcislorod)), а стоимость фиксации 1 т углерода – по [7].

Результаты оценки ресурсов лесных полос на сельхозугодьях Ростовской области представлены в таблице.

По данным таблицы, наибольшей ценностью мелиоративных ресурсов обладает 1 га лесных полос с главными породами: дуб низкоствольный и робиния (Доно-Донецкий и Приазовский ЛМР); робиния, гледичия и тополь (Нижне-Донской ЛМР); робиния и ясень (Сальско-Маньчский ЛМР).

Максимальной ценностью мелиоративного ресурса характеризуется 1 га лесных полос в Приазовском ЛМР, минимальной – в Сальско-Маньчском ЛМР.

В Доно-Донецком ЛМР лесные полосы сельхозугодий (общая площадь 87 842,81 га) обладают ценностью мелиоративного ресурса 895 703,22 тыс. р.; в Приазовском ЛМР (38 713,32 га) – 750 683,35 тыс. р.; в Нижне-Донском (7 071,69 га) – 63 628,25 тыс. р.; в Сальско-Маньчском ЛМР (29 283,79 га) – 167 890,69 тыс. р. В целом по Ростовской области мелиоративный ресурс лесных полос на площади 162 911,61 га оценивается 1 877 905,51 тыс. р.

К возрасту спелости максимальным запасом древесины характеризуются лесные полосы с главными породами: робиния (Доно-Донецкий и Нижне-Донской ЛМР); вяз приземистый (Сальско-Маньчский ЛМР); дуб и робиния (Приазовский ЛМР).

Ресурс продуктивности 1 га лесных полос с главной породой дуб низкоствольный (Доно-Донецкий и Приазовский ЛМР) изменяется от 49,376 до 85,345 тыс. р.; с главной породой робиния – от 7,997 (Сальско-Маньчский ЛМР) до 62,980 тыс. р. (Приазовский ЛМР); с главной породой ясень – от 9,493 (Сальско-Маньчский ЛМР) до 47,192 тыс. р. (Приазовский ЛМР).

Ресурс продуктивности 1 га лесных полос из мягколиственных пород (вяз, тополь) изменяется по лесомелиоративным районам от 0,310 до 2,472 тыс. р.

Для Доно-Донецкого ЛМР общая оценка ресурса продуктивности лесных полос составляет 2 402 664,01 тыс. р.; Приазовского – 2 289 656,27 тыс. р.; Нижне-Донского – 187 990,15 тыс. р.; Сальско-Маньчского – 176 984,56 тыс. р. В целом для Ростовской области ресурс продуктивности лесных полос на общей площади 162 911,61 га оценивается суммой 5 057 294, 99 тыс. р.

Оценка ресурсов лесных полос лесомелиоративных районов Ростовской области

Главная порода лесных полос	Общая площадь лесных полос, га	Ценность мелиоративного ресурса, тыс. р.		Ценность ресурса продуктивности, тыс. р.		Ценность природоохранного ресурса, тыс. р.	
		1 га лесной полосы	общей площади лесных полос	1 га лесной полосы	общей площади лесных полос	1 га лесной полосы	общей площади лесных полос
Донско-Донецкий ЛМР							
Д н/с	1 935,86	11,505	22 272,07	49,376	95 585,02	35,648	69 009,54
Рб	60 285,12	10,843	653 671,55	33,588	2 024 856,61	19,725	1 189 123,99
Вп	9 473,71	7,941	75 230,73	0,452	4 282,12	7,112	67 377,03
Яс	13 930,93	8,704	121 254,81	19,651	273 756,70	9,819	136 787,80
Гл	152,34	9,265	1 411,43	27,462	4 183,56	16,137	2 458,31
Тп	2 064,85	10,588	21 862,63	—	—	7,541	15 571,03
Итого	87 842,81	—	895 703,22	—	2 402 664,01	—	1 480 327,70
Приазовский ЛМР							
Д н/с	464,77	18,020	8 375,16	85,345	39 665,80	61,637	28 647,03
Рб	32 350,29	20,209	653 767,01	62,980	2 037 421,26	37,188	1 203 042,59
Вп	1 212,55	14,711	17 837,82	2,472	2 997,42	12,620	15 302,38
Яс	2 953,66	15,729	46 458,12	47,192	139 389,12	24,247	71 617,39
Гл	1 732,05	13,998	24 245,24	40,52	70 182,67	23,670	40 997,62
Итого	38 713,32	—	750 683,35	—	2 289 656,27	—	1 359 607,01
Нижне-Донецкий ЛМР							
Рб	5 166,28	9,265	47 865,58	33,257	171 814,97	19,583	101 171,26
Вп	901,85	7,789	7 024,51	0,708	638,51	6,717	6 057,73
Яс	637,3	8,145	5 190,81	21,932	13 977,26	11,127	7 091,24
Тп	313,52	9,876	3 096,32	0,310	97,19	10,954	3 434,30
Гл	52,74	8,552	451,03	27,725	1 462,22	16,338	861,67
Итого	7 071,69	—	63 628,25	—	187 990,15	—	118 616,20
Сальско-Манычский ЛМР							
Рб	19 064,73	6,007	114 521,83	7,997	152 460,64	3,919	74 714,68
Вп	8 003,27	5,090	40 736,64	0,436	3 489,43	4,058	32 477,27
Яс	2 215,79	5,701	12 632,22	9,493	21 034,49	3,860	8 552,95
Итого	29 283,79	—	167 890,69	—	176 984,56	—	115 744,90
Всего	162 911,61	—	1 877 905,51	—	5 057 294,99	—	3 074 295,81

Расчет потенциала ценности природоохранного ресурса лесных полос в возрасте спелости главных пород показывает, что максимальным депонированием углерода и продуцированием кислорода отличаются лесные полосы с главными породами дуб низкоствольный и робиния в Доно-Донецком и Приазовском ЛМР (депонирование углерода – 139 и 235 т/га, продуцирование кислорода – 381 и 645 т/га); минимальные показатели депонирования и продуцирования (соответственно 21 и 58 т/га) характерны для лесных полос из робинии, вяза и ясеня в Сальско-Маньчском ЛМР.

Ценность природоохранного ресурса 1 га лесных полос из твердолиственных пород (дуб, ясень, робиния) в Доно-Донецком ЛМР составляет от 9,819 (Яс) до 35,648 тыс. р./га (Д н/с); в Приазовском – от 23,670 (Гл) до 61,637 тыс. р./га (Д н/с); в Нижне-Донском – от 11,127 (Яс) до 19,583 тыс. р./га (Рб); в Сальско-Маньчском ЛМР – от 3,860 (Яс) до 3,919 тыс. р./га (Рб).

Лесные полосы из мягколиственных пород (вяз, тополь) характеризуются более низкой оценкой природоохранных ресурсов: Доно-Донецкий ЛМР – в пределах 7,0 ... 7,5 тыс. р./га; Приазовский – 12,6 тыс. р./га; Нижне-Донской – 6,7 ... 10,9 тыс. р./га; Сальско-Маньчский – 4,1 тыс. р./га.

Ценность природоохранного ресурса для всей площади лесных полос Доно-Донецкого ЛМР составила 1 480 327,7 тыс. р.; Приазовского – 1 359 607,01 тыс. р.; Нижне-Донского – 118 616,2 тыс. р.; Сальско-Маньчского – 115 744,9 тыс. р.

Для Ростовской области природоохранный ресурс лесных полос оценивается в размере 3 074 295,81 тыс. р.

Общая ценность ресурсов лесных полос

$$C_{об} = C_m + C_{п} + C_{пр},$$

где C_m – ценность мелиоративного ресурса, тыс. р.;

$C_{п}$ – ценность ресурса продуктивности, тыс. р.;

$C_{пр}$ – ценность природоохранного ресурса, тыс. р.

Исходя из этого соотношения, общая ценность ресурсов лесных полос для Доно-Донецкого ЛМР составляет 4 778 694,93 тыс. р.; Приазовского – 4 399 946,63 тыс. р.; Нижне-Донского – 370 234,60 тыс. р.; Сальско-Маньчского – 460 620,15 тыс. р.

В целом по Ростовской области общая ценность ресурсов лесных полос на сельскохозяйственных угодьях равна 10 009 496,31 тыс. р.

Выводы

1. Согласно лесомелиоративному районированию, территория Ростовской области подразделена на 4 ЛМР: Доно-Донецкий (площадь лесных полос на сельхозугодьях 87 842,81 га), Приазовский (38 713,32 га), Нижне-Донской (7 071,69 га) и Сальско-Маньчский (29 283,79 га).

2. К ресурсам лесных полос на сельхозугодьях относятся мелиоративные ресурсы (влияние на урожайность сельскохозяйственных культур), ресурсы продуктивности (запас древесины) и природоохранный ресурс (депонирование углерода и продуцирование кислорода).

3. Ресурс лесных полос зависит от главных пород в их составе. Наибольшей ценностью обладают лесные полосы с твердолиственными главными породами: дуб низкоствольный, робиния, ясень. Лесные полосы из мягколиственных пород (вяз, тополь) характеризуются более низкой мелиоративной, природоохранной ценностью и продуктивностью.

4. Общая ценность ресурсов лесных полос на сельскохозяйственных угодьях Ростовской области составляет около 10 млрд р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов С.В. Лесоводство: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 352 с.
2. Ивонин В.М., Тянукевич В.В., Лобов Н.Е. Адаптивная лесомелиорация степных агроландшафтов: монография. Новочеркасск, 2009. 284 с.
3. Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России / А.С. Исаев [и др.] // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
4. Трибунская В.М., Кузьмина Т.С. Нормативы прибавок урожая важнейших сельскохозяйственных культур от мелиоративного влияния ползащитных лесных полос: норматив. М., 1984. 99 с.
5. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России / Д.Г. Замолодчиков [и др.]. М.: КМК, 2005. 212 с.
6. Фоменко, Г.А., Фоменко М.А., Лошадкин К.А. Денежная оценка природных ресурсов и экосистемных услуг в территориальном развитии. Адаптация в России методических подходов ООН: научно-практические рекомендации. Ярославль: НПП «Кадастр», 2000. 128 с.
7. Economic Analysis of Environmental / J.A. Dixon [at al.]. London: Earthscan, 1994.

Поступила 01.03.2010

V.M. Ivonin, V.V. Tanyukevich
Novocherkassk State Reclamation Academy

Evaluation of Forest Belts Resources on the Agroforestry Areas in the Rostov Region

The mature forest belts resources on the agricultural lands in the Rostov Region have been evaluated. The reclamation resources value amounts to 1877905,51 thousand roubles; productive resources – to 5057294,99 thousand roubles; environmental resources (depositing carbon and production of oxygen) – to 3074295,81 thousand roubles.

Keywords: agricultural lands, forest belt, reclamation resource, productive resource, environmental resource.

УДК 630*231

А.В. Грязькин, В.В. Петрик, В.Н. Смертин

Грязькин Анатолий Васильевич родился в 1951 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 150 печатных работ по проблемам естественного лесовозобновления, изучения последствий хозяйственной деятельности в лесу, использования недревесных ресурсов леса, подсадки леса, лесной экологии.

E-mail: lesovod@bk.ru



Петрик Виталий Васильевич родился в 1952 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 80 печатных работ в области прижизненного использования леса.

E-mail: harz@agtu.ru



Смертин Виктор Николаевич родился в 1954 г., окончил в 1982 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доцент кафедры садово-паркового и ландшафтного строительства С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ в области садово-паркового и ландшафтного строительства.

E-mail: lesovod@bk.ru



**ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ
В КРУПНЕЙШЕМ ПАРКЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Выявлена динамика изменения состава и состояния структурных элементов парковых фитоценозов в условиях чрезмерного рекреационного давления.

Ключевые слова: городской парк, парковый биогеоценоз, фитоценоз, структура древостоя, санитарное состояние древостоя, стадия дигрессии, рекреационная нагрузка, динамика состава древостоя, изменение состояния древостоя.

Важнейшая задача современной лесной науки – сохранение и усиление биосферных, социальных и экономических функций леса. Особенно это важно для городских парков, садов, скверов и т.п. Парки имеют важное эстетическое и градообразующее значение, они выполняют средообразующие функции, защищают от шума, выхлопных газов и пыли, обеспечивают рекреационные потребности населения.

Известно, что под влиянием антропогенных факторов изменяется состав и структура всех ярусов лесных фитоценозов, в частности, в сосняках. Характер этих изменений зависит от степени нагрузки, ее продолжительности и периодичности, а также типа лесного биогеоценоза, возраста насаждения и ряда других факторов [1, 5–8].

Характеристика объектов исследований

Лесопарк «Сосновка» г. Санкт-Петербурга создан в послевоенные годы на месте военного аэродрома. По этой причине преобладающая часть древостоев имеет возраст не более 70 лет. Общая площадь парка в современных границах составляет около 303 га. Все древостои естественного происхождения, за исключением отдельных групп деревьев и аллей, созданных в разные годы (преимущественно вдоль магистральных дорог и оборудованных мест отдыха) в рамках мероприятий по благоустройству территории парка. Преобладающими породами являются сосна и береза.

В связи с сильной заболоченностью северная часть парка менее раздроблена городскими коммуникациями и инфраструктурой. Здесь на многих участках сформировалась и сохраняется лесная среда. Именно в этой части были выделены наиболее интересные с научной точки зрения объекты. Южная часть сильно трансформирована еще в период строительства аэродрома: насыпной грунт, глубокие канавы, развитая дорожная сеть.

Весь парк разбит на кварталы (всего 30, средняя площадь одного – около 10 га). В целом дорожно-тропиночная сеть хорошо развита. Пробные площади для пересчета деревьев закладывали между осушительными канавами, которые служили естественными границами. Расстояние между канавами на заболоченной (северной) части составляет от 30 до 40 м, в средней части – 60...80 м. В южной части парка мелиоративные канавы представлены единично или их нет вовсе.

С учетом интенсивности рекреации для исследования было подобрано 30 экспериментальных участков в разных частях парка. Это отдельные участки с сосновыми древостоями на торфянистых (сосняки долгомошные, объекты 1–18) и минеральных (сосняки черничные, объекты 19–30) почвах. По интенсивности рекреационной нагрузки все объекты были поделены на три группы:

1) высокая нагрузка (объекты 1–6, 27–30) – дорожно-тропиночная сеть максимальной густоты; большое количество стихийных мест отдыха, кострищ; живой напочвенный покров сохранился на площади менее 50 %;

2) средняя нагрузка (объекты 7–12, 23–26) – тропиночная сеть вблизи квартальных просек и дорог; мест отдыха и кострищ существенно меньше; живой напочвенный покров вытоптан лишь вдоль дорог и тропинок;

3) наименьшая нагрузка (объекты 13–22) – дорожно-тропиночная сеть минимальной густоты; кострищ практически нет, места неорганизованного отдыха единичны.

Выбранные объекты характеризуются чистыми и смешанными по составу древостоями. Видовой состав беден. Преобладает сосна (С), примесь других пород (береза – Б, осина – Ос, ольха – Ол, ива – И) на отдельных участках (на минеральных почвах) существенна. Главный компонент фитоценоза представлен низкостелыми низкополотными древостоями. Для всех исследуемых древостоев характерна разновозрастность, разновысотность и дифференциация деревьев по санитарному состоянию.

Основные таксационные характеристики сосняков долгомошников (на торфяных почвах) и черничников (на минеральных почвах) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационные характеристики сосняков

Номер объекта	Состав	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас, м ³ /га
Долгомошники						
1	7С 3Б	12,1	13,2	V	0,50	72
2	7С 3Б	11,4	12,4	V	0,46	56
3	8С 2Б	12,7	13,5	V	0,48	62
4	7С 3Б	12,0	13,0	V	0,52	81
5	8С 2Б	10,1	11,2	IV	0,61	79
6	8С 2Б	9,3	10,1	V	0,63	72
7	9С 1Б	11,1	10,3	IV	0,57	76
8	8С 2Б	12,0	12,7	V	0,64	78
9	9С 1Б	11,4	10,4	V	0,53	73
10	8С 2Б	12,5	13,7	V	0,60	79
11	9С 1Б	13,0	13,9	IV	0,71	92
12	9С 1Б	9,1	10,0	V	0,63	86
13	9С 1Б	11,9	11,2	IV	0,61	82
14	10С	11,6	10,8	IV	0,70	84
15	9С 1Б	12,8	11,6	IV	0,72	89
16	10С	12,4	13,2	IV	0,68	89
17	9С 1Б	13,1	13,6	IV	0,67	91
18	10С	13,5	13,4	IV	0,65	92
Черничники						
19	7С 3Б	16,1	17,2	III	0,72	186
20	7С 3Б	16,0	16,8	III	0,70	171
21	8С 2Б	15,6	16,9	III	0,73	189
22	7С 3Б	16,1	16,2	III	0,69	168
23	8С 2Б	15,7	16,7	IV	0,72	170
24	7С 2Б	16,0	17,2	III	0,68	177
25	9С 1Б	16,1	15,9	IV	0,74	173
26	8С 2Б	17,0	16,8	III	0,74	198
27	8С 2Б	16,6	16,6	III	0,72	182
28	8С 2Б	15,8	16,0	III	0,6	171
29	7С 1Б	15,4	16,2	IV	0,5	169
30	7С 1Б	15,1	15,9	IV	0,5	158

Общая численность подроста под пологом сосняков долгомошников (преобладание подроста сосны) в несколько раз меньше, чем в сосняках черничниках (преобладание подроста лиственных пород). По состоянию преобладает поврежденный подрост.

В составе подроста на объектах с избыточным увлажнением преобладает сосна, под пологом сосняков черничного типа – береза. Общая численность подроста под пологом сосняков долгомошных в среднем в 2-3 раза меньше,

чем в сосняках черничных. На объектах с высокой рекреационной нагрузкой подрост хвойных пород практически отсутствует (200...600 экз./га). Подрост хвойных пород поврежден полностью, в меньшей степени поврежден подрост лиственных пород (береза, осина).

Состав подлеска, его численность и состояние по объектам сильно различаются. Под пологом сосняков на торфяных почвах он представлен 1–4 видами в количестве, не превышающем 1 тыс. экз./га. Численность подлеска прямо связана с рекреационной нагрузкой: при высокой – она минимальна (менее 500 экз./га), при низкой – достигает 1 тыс. экз./га. Преобладает рябина высотой от 0,5 до 2,0 м.

В черничном типе леса видовой состав подлеска намного богаче (11 видов) и его численность достигает 3 тыс. экз./га. Здесь также преобладает рябина. Высота отдельных растений достигает 4,0...5,0 м.

Живой напочвенный покров сложен неравномерно, отличается мозаичностью. В условиях высокой рекреационной нагрузки проективное покрытие живым напочвенным покровом составляет менее 50 %. Флористическая насыщенность – 32 вида травянистых растений, 6 видов кустарничков, 7 видов мхов и 2 вида лишайников.

Почвы этого парка характеризуются следующими показателями: абсолютная влажность – около 40 %, плотность верхнего горизонта – 1,3 г/см³, содержание гумуса менее 1 % [9]. В южной части парка – почвы преимущественно минеральные, сильно урбанизированные с большой долей чужеродных примесей, в северной части – торфяные и торфянистые, их морфология близка к естественным.

Методы исследований

Таксационные характеристики древостоев определяли по общепринятой методике. Возрастная структура древостоев изучалась на пробных площадях, распределение по возрастным поколениям производили по внешним признакам и подсчетом количества мутовок [4].

Для изучения структуры древостоев по диаметру закладывали стандартные пробные площади в соответствии с ГОСТом [2].

Распределение деревьев по категориям состояния осуществляли на основании «Правил санитарной безопасности в лесах» (2007 г.), ОСТ 56-100–95. Средний балл состояния деревьев на участках и по ступеням толщины устанавливали расчетным путем. Для этого количество деревьев в ступени толщины умножали на индекс состояния, затем полученные произведения суммировали по всем категориям состояния и полученную сумму делили на общее количество деревьев в данной ступени всех категорий состояния.

Полевые работы по учету нижних ярусов растительности осуществляли в соответствии с методикой, разработанной кафедрой лесоводства Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии [3]. Подрост и подлесок учитывали на круговых площадках (их количество не менее 30 на каждом экспериментальном участке), всего было заложено 978 учетных площадок.

Результаты работы

Интенсивная рекреационная нагрузка приводит к снижению среднего возраста древостоев и сокращению возрастного ряда. В большей степени это характерно для сосны. Деревья, имеющие возраст более 81 года, представлены единично. Исходя из этого в хвойных древостоях парка «Сосновка» можно выделить 2-3 поколения (каждое поколение представлено двумя классами возраста), в лиственных – от 3 до 5. Древостои с преобладанием сосны на большинстве участков парка представлены практически двумя поколениями (табл. 2), т.е. размах варьирования возраста деревьев находится в пределах от 1 до 80 лет (сосняки на переувлажненных почвах).

Таблица 2

Распределение деревьев в сосняках по возрастным поколениям и диаметру стволов в зависимости от интенсивности рекреации

Показатель	Значение показателя для возрастных поколений по типам леса								
	1...40 лет			41...80 лет			81...120 лет		
	Долгомошники								
Номер объекта	2	8	11	2	8	11	2	8	11
Средний диаметр, см	12,3	10,9	9,3	15,5	16,4	16,8	–	–	–
Количество деревьев на 1 га, экз.	483	562	596	396	516	548	–	2	6
	Черничники								
Номер объекта	19	23	29	19	23	29	19	23	29
Средний диаметр, см	8,3	8,9	8,9	22,4	20,8	18,0	27,9	25,8	22,6
Количество деревьев на 1 га, экз.	327	379	388	149	190	187	64	68	74

Распределение древостоев по возрастным поколениям на остальных объектах исследования практически не отличается от возрастной структуры, приведенной в табл. 2. В целом древостои с преобладанием сосны представлены преимущественно двумя возрастными поколениями, причем проявляется устойчивая тенденция к сокращению возрастного ряда (количества поколений). Эта тенденция отчетливо прослеживается на объектах с густой дорожно-тропиночной сетью и чрезмерной рекреационной нагрузкой.

Прямое воздействие человека (рекреационная нагрузка) приводит к существенной трансформации структуры парковых фитоценозов. Интенсивная рекреация является основной причиной ухудшения санитарного состояния древостоев в парке «Сосновка» – количество поврежденных деревьев увеличивается, доля сухостоя растет. При этом численность деревьев сосны снижается, а березы увеличивается – это результат влияния не только рекреации, но и антропогенного воздействия в широком смысле (промвыбросы, автотранспорт).

Распределение деревьев сосны по категориям состояния в лесопарке представлено в табл. 3. За девятилетний период сократилось не только количество здоровых деревьев (1-й и 2-й категорий состояния), но и общее количество.

Таблица 3

**Динамика структуры древостоев по категориям состояния
в зависимости от интенсивности рекреации за девятилетний период**

Категория состояния деревя, балл	Количество деревьев, %, при разной интенсивности рекреации по годам учета					
	высокая (объект 1)		средняя (объект 10)		низкая (объект 17)	
	2000 г.	2009 г.	2000 г.	2009 г.	2000 г.	2009 г.
1	10,1	7,3	13,5	12,3	17,6	17,2
2	15,4	14,0	23,0	22,1	30,4	30,0
3	23,0	21,9	29,9	29,7	21,1	20,7
4	31,3	34,2	21,4	21,9	22,6	22,9
5	7,4	8,9	7,8	8,3	5,0	5,7
6	12,8	15,7	3,4	5,7	3,2	3,5
<i>Итого</i>	100	100	100	100	100	100
Всего деревьев на 1 га, экз.	1003	947	1472	1431	2138	2089

В условиях слабого рекреационного давления (объект 17) распределение деревьев по категориям состояния существенно отличается от объекта 1 (чрезмерная рекреационная нагрузка). Главное отличие – в количестве деревьев, имеющих категорию состояния 1, 2 и 6.

Санитарное состояние различается у деревьев разной степени толщины (табл. 4). Наиболее ослаблены деревья старшего поколения (с максимальным диаметром ствола), средний балл состояния от 2,9 до 4,6 в зависимости от интенсивности рекреации. Девять лет назад средний балл был несколько выше – 2,8...4,3.

Таблица 4

**Динамика структуры древостоев по диаметру ствола
в зависимости от интенсивности рекреации за девятилетний период**

Степень толщины (диаметр ствола), см	Средний балл состояния при интенсивности рекреации по годам учета					
	высокая (объект 1)		средняя (объект 10)		низкая (объект 17)	
	2000 г.	2009 г.	2000 г.	2009 г.	2000 г.	2009 г.
4,1...6,0	2,8	3,1	2,8	3,0	2,7	2,9
6,1...8,0	2,8	3,2	2,9	3,0	2,7	2,8
8,1...10,0	2,9	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8
10,1...12,0	3,4	3,7	3,1	3,2	2,9	2,9
12,1...14,0	3,8	3,9	3,0	3,1	2,9	2,8
14,1...16,0	3,7	3,7	3,1	3,2	3,0	3,1
16,1...18,0	3,6	3,8	3,2	3,2	3,1	3,2
18,1...20,0	3,9	4,1	3,3	3,4	3,1	3,3
20,1...22,0	4,1	4,3	3,5	3,7	3,3	3,5
22,1...24,0	4,3	4,6	3,6	3,8	3,3	3,6
<i>Среднее*</i>	3,51	3,68	3,20	3,31	3,04	3,12
Всего деревьев на 1 га, экз.	1003	947	1472	1431	2138	2089

*Определяли с учетом количества деревьев в каждой степени толщины.

Видно, что с увеличением диаметра (возраста) деревьев балл состояния увеличивается, т.е. санитарное состояние ухудшается на всех объектах. В условиях чрезмерной рекреационной нагрузки ухудшение состояния деревьев проявляется в большей степени, о чем свидетельствует средний балл.

Судя по данным табл. 3, ухудшение состояния деревьев – устойчивая тенденция, характерная для всех объектов исследования. В наибольшей степени повреждаются посетителями молодое поколение (деревья в начальных ступенях толщины). С учетом выявленной тенденции можно рекомендовать превентивное удаление ослабленных экземпляров, в данном случае удаление деревьев старшего возраста (целесообразно постоянное омоложение древостоев).

Состояние древостоев в целом поддается регулированию хозяйственными мерами – путем удаления сухостоя и ослабленных деревьев (при этом средний балл состояния снижается). Например, в результате удаления сухостоя в сосняках данного парка в апреле 2007 г. (объекты 7, 8, 11, 12) абсолютное значение индекса состояния древостоев вдоль квартальных просек и магистральных дорог уменьшилось на 1,2...1,4, т.е. санитарное состояние этих древостоев улучшилось на 22...28 %.

Если рассматривать структуру древостоев по состоянию в целом по парку, то можно говорить о следующей закономерности: чем выше интенсивность рекреации, тем меньше средний диаметр древостоев и выше доля сухостоя (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость характеристик сосновых древостоев от интенсивности рекреации

Интенсивность рекреации	Количество деревьев на 1 га, экз.	Процент сухостоя	Средний диаметр, см	Сомкнутость полога
Долгомошники (объекты 1–18)				
Высокая	562...947	9,2...16,9	9,1...12,6	0,32...0,46
Средняя	691...1431	12,5...19,4	13,1...15,7	0,41...0,72
Низкая	1729...2089	9,7...14,3	12,9...16,2	0,50...0,76
Черничники (объекты 19–30)				
Высокая	437...548	2,2...3,9	18,1...21,6	0,46...0,56
Средняя	541...756	1,7...1,9	18,9...24,1	0,55...0,70
Низкая	728...968	1,5...2,3	19,1...25,7	0,61...0,84

Состав древостоев в данных условиях оказывается наиболее устойчивым признаком парковых фитоценозов, хотя и он подвержен изменениям, особенно при чрезмерной интенсивности рекреации (табл. 6).

Анализ полученных результатов показывает, что за девятилетний период состав древостоев заметно изменился. В условиях интенсивной рекреации снижается доля сосны в их составе, одновременно под пологом появляются ольха серая и ива козья.

Таблица 6

**Динамика состава древостоев в зависимости от интенсивности рекреации
за девятилетний период**

Интенсивность рекреации	Номер объекта	2000 г.	2006 г.	2009 г.
Высокая	1	8С 2Б	6С 4Б+Ол ед. И	5С 4Б 1Ол +И
	28	9С 1Б	7С 2Б 1Ол +И	5С 3Б 1Ол 1И
Средняя	11	8С 2Б ед. И, Ол	7С 2Б 1Ол ед. И	6С 2Б 1Ол 1И
	22	9С 1Б ед. И	8С 2Б ед. И	8С 2Б +И, Ол
Низкая	17	8С 2Б ед. И	8С 2Б ед. И	8С 2Б+И ед. Ол
	18	8С 2Б	8С 2Б ед. И	8С 2Б ед. И, Ол

В городском парке «Сосновка» реструктуризация фитоценозов не связана с хозяйственной деятельностью, а является результатом прямого воздействия отдыхающих. На объектах с большим количеством кострищ и стихийных мест отдыха увеличивается средний диаметр деревьев. Это можно объяснить тем, что для разведения костров и обустройства временных мест отдыха посетители используют, как правило, тонкомер, подрост и подлесок.

На примере отдельно взятого объекта видно, что характеристики древостоя за девятилетний период изменились. Общее количество деревьев и средний диаметр стволов снизились, количество поврежденных деревьев увеличилось, санитарное состояние древостоев ухудшилось (табл. 7).

Таблица 7

**Динамика некоторых показателей древостоя за девятилетний период
(сосняк долгомошник, объект 9)**

Показатель	2000 г.	2006 г.	2009 г.
Средний диаметр, см	11,6	11,4	11,4
Средний балл состояния	3,9	4,1	4,2
Повреждено стволов, %	37	44	47
Количество деревьев на 1 га, экз.	762	704	698

На любом объекте доля поврежденных стволов березы в несколько раз больше, чем стволов сосны. Например, на объекте 9 из 41 дерева березы повреждены стволы у 38 (2006 г.), тогда как у деревьев сосны повреждено отдыхающими лишь 44 % стволов.

Выводы

Фитоценозы на объектах исследования характеризуются значительной дифференциацией деревьев по диаметру и состоянию. Установлено, что с увеличением возраста (диаметра) деревьев индекс состояния увеличивается, т.е. санитарное состояние древостоев ухудшается. В этой связи целесообразно постоянное омоложение древостоев, особенно в условиях интенсивной рекреации. Эта рекомендация актуальна и для городских парков и садов.

В местах массового отдыха отчетливо проявляется следующая закономерность – чем дальше от магистральных путей транспорта и организованных пешеходных дорожек расположены фитоценозы, тем меньше они нарушены отдыхающими.

Парковые древостои в большей степени, чем древостои лесного фонда нуждаются в регулярном уходе для поддержания хорошего санитарного состояния. Эффект уходов здесь проявляется в улучшении состояния древостоев (в снижении среднего балла состояния) и повышении эстетического значения парковых фитоценозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артёмьев О.С.* Проектирование дорожно-тропиночной сети в рекреационных лесах // Лесн. хоз-во. 2003. № 2. С. 29.
2. ГОСТ 16-128–88. Площади пробные. М.: Изд-во стандартов, 1989. 12 с.
3. *Грязькин А.В.* Пат. 2084129 Российская Федерация, МКИ С 6 А 01 G 23/00. Способ учета. № 94022328/13; Заяв. 10.06.94; Оpub. 20.07.97, Бюл. № 20.
4. *Грязькин А.В.* Возобновительный потенциал таежных лесов. СПб.: СПбГЛТА, 2001. 188 с.
5. *Ковязин В.Ф., Минкевич И.И., Шабнов В.М.* Древесные породы зеленых насаждений Санкт-Петербурга и Пушкина, мониторинг их состояния и способы его улучшения. СПб.: Изд-во СПб ГПУ, 2002. 88 с.
6. *Петункина Л.О., Ковригина Л.Н.* Хвойные породы в городской среде // Проблемы озеленения крупных городов. 2005. Вып. 11. С. 42–44.
7. *Смертин В.Н., Грязькин А.В.* Особенности парцеллярной структуры фитоценозов в условиях интенсивной рекреации // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 43–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Смертин В.Н.* Динамика изменений видового состава и состояния структурных элементов парковых ценозов // Изв. СПбГЛТА. СПб.: СПб ГЛТА, 2007. Вып. 180. С. 52–58.
9. *Цветкова С.Д., Иванова Г.И.* Почвенный покров парка Санкт-Петербургской лесотехнической академии // Изв. СПбГЛТА. СПб.: СПбГЛТА, 1994. Вып. 4. С. 69–76.

Поступила 12.05.10

A.V. Gryazkin¹, V.V. Petrik², V.N. Smertin¹

¹St. Petersburg State Forestry Academy

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Changes in the Stand State in the Largest Park of St. Petersburg

The dynamics of changes in the composition and state of structural elements of the park plant communities under the conditions of excessive recreational pressure has been revealed.

Keywords: urban park, park biogeocenosis, phytocenosis, stand structure, sanitary condition of the stand, stage of digression, recreational load, dynamics of growing stand, changes in the state of the stand.

УДК 630*61

Н.Н. Панкратова

ФГУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

Панкратова Надежда Николаевна родилась в 1968 г., окончила в 1990 г. Хабаровский политехнический институт, кандидат экономических наук, зав. отделом учета лесного фонда и воспроизводства лесов ФГУ ДальНИИЛХ. Имеет более 20 печатных работ в области экономики и организации лесного хозяйства.



ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ВИДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ ПО ПРИОРИТЕТНОСТИ

Разработаны научно-обоснованные критерии приоритетности и система показателей, позволяющих установить приоритетный вид лесопользования при передаче лесных участков в аренду, исходя из задач комплексного использования лесных ресурсов, перспективного территориального планирования, повышения доходности и социальной приемлемости лесов. Предложена методика ранжирования видов пользования по критериям приоритетности на основе интегральной оценки.

Ключевые слова: виды использования лесов, аренда лесных участков, критерии приоритетности, методика ранжирования, интегральная оценка.

В соответствии с действующим Лесным кодексом РФ* существенно расширился перечень видов лесо- и землепользования, для осуществления которых лесной участок может предоставляться в аренду. Однако, как правило, лесные участки выделяются только под один вид пользования, например для заготовки древесины. Учитывая новые возможности развития различных видов использования лесов, помимо промышленных лесозаготовок и деревопереработки, в современных социально-экономических условиях требуются иные подходы к формированию лесного сектора экономики, позволяющие обеспечить большую доходность и социальную приемлемость использования лесных ресурсов.

При наличии нескольких претендентов на один лесной участок, но на разные виды пользования, возникает необходимость выбора и обоснования видов использования лесов по приоритетности на той или иной территории при передаче лесного участка в аренду. В одном случае абсолютным приоритетом, основанном на социально-экономических или экологических интересах, будет заготовка древесины, в другом – рекреационное или иное пользование, предусмотренное ст. 25 Лесного кодекса РФ. Для выбора предпо-

* Лесной кодекс Российской Федерации. М.: Изд-во «Омега-Л», 2010. 45 с.
© Панкратова Н.Н., 2011

чения требуется разработка научно-обоснованных критериев приоритетности при организации пользования различными видами лесных ресурсов.

Любой из разрешенных видов использования лесов может осуществляться на одной территории лесного фонда как единственный вид лесопользования или одновременно с другими совместимыми видами, исходя из задач многоцелевого комплексного использования лесных ресурсов.

Ранжирование видов использования лесов на лесном участке, выставляемом на аукцион, по приоритетности должно осуществляться на основе следующих основных критериев.

1. Экономический – вклад в обеспечение экономического роста территории.

Виды пользования оцениваются в зависимости от доходности лесного хозяйства, степени удовлетворения потребности в них на рынке товаров и услуг, соответствия тому виду деятельности, на котором специализируется данная территория, привлечения инвестиций в лесной сектор экономики в целом и в выращивание лесов в частности.

Для оценки того или иного вида пользования по данному критерию используются показатели (индикаторы):

- уровень доходности лесного хозяйства;
- уровень спроса со стороны потребителей;
- соответствие специализации территории.

2. Экологический – влияние на окружающую среду, здоровье и безопасность людей, целостность и ценность функций леса, возможность их самовосстановления.

Оценивается возможное влияние видов пользования на окружающую среду, здоровье и безопасность людей, устойчивость экосистем и ландшафтов, целостность и ценность функций леса, возможность их самовосстановления, охраняемые зоны и особо охраняемые территории, местообитания редких и исчезающих видов растений и животных.

Для оценки по данному критерию используются следующие показатели:

- степень сохранения устойчивости экосистем и ландшафтов;
- сохранение возможности самовосстановления функций леса;
- обеспечение безопасности и здоровья людей.

3. Технологический – инновационность применяемой техники и технологий.

Сравниваются техника и технологии, применяемые при том или ином виде использования лесов, оценивается их влияние на повышение интенсивности и рациональности лесопользования, безотходность производства (ресурсосбережение), диверсификацию выпускаемой лесной продукции или оказываемых услуг, уровень переработки ресурсов в местах заготовок при условии сохранения экологической целостности лесов.

Показатели:

уровень интенсивности и рациональности лесопользования;
степень безотходности (ресурсосбережения) производства;
уровень диверсификации выпускаемой продукции или оказываемых услуг.

4. Социальный – обеспечение местного населения ресурсами и средствами жизнедеятельности.

Виды лесных пользований ранжируются по степени вовлечения местного населения (решение вопросов занятости), его обеспечения ресурсами или средствами жизнедеятельности, исключения возможности нарушения прав и интересов коренных малочисленных народов (за исключением случаев добровольного и осознанного согласия), долгосрочного общего улучшения социально-экономического положения населения, проживающего на данной территории или вблизи нее.

Показатели:

степень трудоустройства местного населения;
уровень соблюдения интересов коренных малочисленных народов;
влияние на долгосрочное социально-экономическое положение местного населения.

5. Правовой – нормативно-правовая обеспеченность.

Оценивается приемлемость каждого вида пользования с точки зрения соответствия нормам действующего лесного, гражданского, природоохранного и иного законодательства, а также основным задачам перспективного территориального планирования и другим плановым документам.

Показатели:

уровень регулируемости законодательными нормами;
соответствие задачам перспективного территориального планирования;
соответствие задачам лесного планирования.

Для оценки видов пользования по каждому критерию предлагается не менее трех показателей, позволяющих экспертно или количественно оценить тот или иной вид пользования с точки зрения соответствия выбранному критерию. Для получения более объективных оценок, необходимо формализовать систему показателей таким образом, чтобы входящие в них параметры обеспечивали получение достоверных результатов. Каждый из показателей оценивается по 3-балльной шкале (от 1 до 3): высокий – 3, средний – 2, низкий – 1.

Ниже приведен порядок расчета всех перечисленных выше показателей.

Показатель уровня доходности лесного хозяйства (I_i) определяется как произведение ежегодного объема каждого конкретного вида пользования (V_i) на ставку платы за единицу объема данного вида (P_i): $I_i = V_i P_i$. Наиболее приоритетным по данному критерию видом пользования будет тот, доход от которого превысит доход от любого другого вида использования лесов: $V_1 P_1 \geq V_2 P_2 \geq V_3 P_3 \geq \dots \geq V_n P_n$. При выборе комбинаций видов пользований критерий доходности должен удовлетворять следующему условию: $\sum_{i=1}^n V_i P_i \rightarrow \max$.

Для оценки доходности по 3-балльной шкале рекомендуется найти среднее от полученных оценок по всем видам пользования:

$$\frac{\sum_{i=1}^n V_i P_i}{n} = \bar{I}_f.$$

Те виды пользования, доходы от которых находятся в диапазоне $\pm 50\%$ от среднего показателя доходности, получают средний балл. Виды пользования, доходы от которых превышают среднее значение $+50\%$, получают максимальный балл, доходы от видов пользования, значения которых ниже среднего диапазона, получают минимальный балл.

При оценке уровня спроса со стороны потребителей на выпускаемые продукты или оказываемые услуги рекомендуется использовать показатель стоимости выпускаемой продукции (B_i), определяемый как произведение рыночной цены (C_i) на прогнозируемый объем (Q_i) конкретного вида продукции или услуг: $B_i = Q_i C_i$. Наиболее приоритетным по этому критерию является тот вид пользования, у которого показатель стоимости выпуска продукции выше, чем у других видов: $Q_1 C_1 \geq Q_2 C_2 \geq Q_3 C_3 \geq \dots \geq Q_n C_n$. В отсутствие рыночных цен на оцениваемый вид продукции или услуг (например, на линейных и водных объектах, в геологоразведке и т.д.) могут учитываться затраты на их создание или эксплуатацию. При этом шкала оценок дифференцируется так же, как и при оценке доходности.

Оценку соответствия лесной специализации территории (F_i), на которой находятся оцениваемые виды пользования, рекомендуется производить по соотношению количества участков (N_i), арендуемых под данный вид пользования, и общего количества арендованных лесных участков (N_a):

$$F_i = \frac{N_i}{N_a}.$$

Минимальной территориальной единицей при этом является ад-

министративный район. Вид пользования, для осуществления которого число арендуемых участков превышает 50% от их общего числа ($F_i > 0,5$), оценивается как вид высокого уровня специализации, при $0,2 \leq F_i \leq 0,5$ – среднего уровня, $F_i < 0,2$ – низкого.

Для оценки сохранения устойчивости локальных экосистем и ландшафтов (U_i) можно использовать показатель, исчисляемый соотношением площадей ежегодного интенсивного лесопользования данного вида (S_i) и арендуемого участка (S_a): $U_i = \frac{S_i}{S_a}$. При значении этого показателя свыше

50% ($U_i > 0,5$) степень сохранения устойчивости экосистем и ландшафтов является низкой, $0,2 \leq U_i \leq 0,5$ – средней, $U_i < 0,2$ – высокой.

Сохранение возможности самовосстановления функций леса в результате того или иного вида пользования (W_i) может быть оценено числом лет (T_i), необходимых для естественного восстановления лесных функций от использования данного вида пользования: $W_i = f(T_i)$. Уровень возможности самовосстановления функций леса является высоким, если на это требуется до 5 лет, средним – от 5 до 10 лет, низким – свыше 10 лет.

Оценку обеспечения безопасности и здоровья людей (Z_i) следует производить через сравнение показателя уровня заболеваемости и травматизма при осуществлении того или иного вида пользования (Y_i) со среднегодовым показателем заболеваемости и травматизма по всем видам пользования (Y_a): $Z_i = \frac{Y_i}{Y_a}$. Если значение этого показателя ниже 20 % ($Z_i < 0,2$), то

обеспечение безопасности и здоровья людей высокое, от 20 до 50 % ($0,2 \leq Z_i \leq 0,5$) – среднее, более 50 % ($Z_i > 0,5$) – низкое.

Оценку уровня интенсивности и рациональности лесопользования (R_i) рекомендуется определять по соотношению фактического (или планируемого) ежегодного объема использования данного вида (V_i) и максимально (или потенциально) возможного (V_{\max}): $R_i = \frac{V_i}{V_{\max}}$. Если значение этого

показателя более 50 % ($R_i > 0,5$) интенсивность оценивается как высокая, $0,2 \leq R_i \leq 0,5$ – как средняя, $R_i < 0,2$ – низкая.

Степень безотходности производства или ресурсосбережение (H_i) можно определить с помощью стоимостного показателя выхода продукции или оказания услуг (B_i) с 1 га ежегодно используемого для этой цели арендуемого участка (S_i): $H_i = \frac{B_i}{S_i}$. Для оценки безотходности по 3-балльной

шкале требуется найти среднее значение полученных оценок по всем видам пользования: $\frac{\sum_{i=1}^n B_i}{S_a} = \bar{H}$. Те виды пользования, стоимость продукции или

услуг которых находится в диапазоне ± 50 % от среднего показателя, получают средний балл. Виды пользования, стоимость выхода продукции которых превышает среднее значение $+50$ %, получают максимальный балл, ниже среднего – минимальный.

При оценке уровня диверсификации выпускаемой продукции или оказываемых услуг (D_i) рекомендуется применять показатель количества продукции или услуг от данного вида пользования (K_i): $D_i = f(K_i)$. Предлагается следующая шкала оценок по этому критерию: высокий – более 5 видов продукции или услуг, средний – от 3 до 5, низкий – менее 3.

Для оценки степени трудоустройства местного населения (L_i) необходимо сравнить уровень занятости местных жителей в том или ином виде лесопользования (J_i) со средним уровнем занятости в лесном секторе регио-

на (J_a): $L_i = \frac{J_i}{J_a}$. При уровне занятости данным видом пользования, находя-

щемся в диапазоне 10 ... 20 % от общего числа занятых в лесном секторе региона местных жителей ($0,1 \leq L_i \leq 0,2$), предлагается оценивать степень трудоустройства как среднюю, при $L_i < 0,1$ – как низкую, $L_i > 0,2$ – высокую.

Уровень соблюдения интересов коренных малочисленных народов (КМН) (X_i) рекомендуется измерять степенью влияния того или иного вида пользования на объемы и качество промыслов коренных народностей. В качестве одного из показателей можно использовать соотношение лесной площади, используемой под промыслы КМН (S_p), и площади эксплуатационных лесов лесничества или административного района (S_f): $\frac{S_p}{S_f}$. Для оценки влияния конкретного вида пользования на соблюдение интересов КМН применяется следующее выражение: $X_i = \frac{S_p}{S_f - S_i} - \frac{S_p}{S_f}$. Если данный показатель ниже 10 % ($X_i < 0,1$), то уровень соблюдения интересов КМН можно оценивать как высокий, от 10 до 20 % ($0,1 \leq X_i \leq 0,2$) – как средний, свыше 20 % ($X_i > 0,2$) – низкий.

Степень влияния видов пользования на долгосрочное социально-экономическое положение местного населения (M_i) оценивается через показатель срока аренды (T_a): $M_i = f(T_a)$. При $T_a < 10$ лет влияние вида пользования на социально-экономическое положение населения оценивается как низкое, от 10 до 30 лет ($10 \leq T_a \leq 30$) – среднее, свыше 30 лет ($T_a > 30$) – высокое.

Под уровнем регулируемости нормами законодательства понимается степень регламентации правил того или иного вида использования лесов с точки зрения разработки норм изъятия, ограничений использования, требований восстановления. Известно, что на сегодняшний день всем этим требованиям соответствуют только правила заготовки древесины. Оценку по этому критерию предлагается осуществлять экспертно.

Для оценки видов пользования по критерию соответствия задачам перспективного территориального планирования используется следующая шкала: высокий уровень – соответствует задачам, средний – не вполне соответствует задачам, низкий – не противоречит задачам перспективного территориального планирования. Оценка по этому критерию производится экспертно.

Оценку видов пользования на соответствие задачам лесного планирования (E_i) рекомендуется производить через сравнение доли показателя лесного дохода от того или иного вида пользования в сумме лесного дохода

$\left(E_i^0 = \frac{I_i}{\sum_i^n I_i} \right)$ с его удельным весом в лесном плане субъекта РФ, на территории которого находится оцениваемый лесной участок $\left(E_i^p = \frac{I_i^p}{\sum_i^n I_i^p} \right)$. Если

разница между этими показателями не превышает 10 % ($E_i - E_i^p < 0,1$), то уровень соответствия задачам лесного планирования оценивается как высокий, если находится в пределах от 10 до 20 % ($0,1 \leq E_i - E_i^p \leq 0,2$) – средний, если превышение составляет более 20 % ($E_i - E_i^p > 0,2$) – низкий.

Ранжирование видов использования лесов по приоритетности (на примере Суклайского лесничества)

Виды пользования	Критерии и показатели, балл																		Интегральная оценка, балл	Ранговая оценка
	экономические			экологические			технологические			социальные			правовые							
	Уровень доходности лесного хозяйства	Уровень спроса со стороны потребителей	Соответствие специализации территории	Сохранение устойчивости экосистем и ландшафтов	Сохранение возможности самовосстановления функций леса	Обеспечение безопасности и здоровья людей	Уровень интенсивности и рациональности лесопользования	Степень безотходности производства (ресурсосбережение)	Уровень диверсификации выпускаемой продукции или оказываемых услуг	Степень трудоемкости местного населения	Уровень соблюдения интересов коренных малочисленных народов	Влияние на долготермочное социально-экономическое положение местного населения	Соответствие нормам законодательства	Соответствие задачам перспективного планирования	Соответствие задачам территориального планирования	Соответствие задачам лесного планирования				
Заготовка древесины	3	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	41	1
Недревесное пользование	3	1	1	3	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	24	5
Заготовка лесных пищевых и лекарственных растений	1	2	1	3	3	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	27	3
Ведение сельского хозяйства	1	1	1	2	3	3	1	1	2	3	3	1	2	2	1	2	2	1	26	4
Строительство дорог и линейных объектов	2	3	1	1	1	3	1	2	1	3	1	1	1	1	1	3	2	3	29	2

Ранжирование видов пользования осуществляется на основе интегральной оценки, которая определяется суммированием баллов по каждому вышеперечисленному показателю. Если показатель по какому-либо критерию не поддается количественному измерению, оценка по нему производится экспертно*.

Приоритетность вида лесопользования может устанавливаться как в целом для субъекта РФ, исходя из его социально-экономической значимости, так и отдельно по лесничествам или административным районам. Результаты ранжирования видов использования лесов по предлагаемым критериям и показателям приведены на примере одного из лесничеств Хабаровского края (см. таблицу).

Внедрение предлагаемого метода определения приоритетного вида пользования в практику позволит выставлять лесной участок на аукцион для осуществления основного и совместимых с ним видов пользования, что обеспечит комплексное и рациональное использование лесов и существенное увеличение лесного дохода с единицы площади.

Поступила 10.02.2010

N.N. Pankratova

Federal State Institution "For East Forestry Research Institute"

Selection and Justification of the Priorities of Forest Utilization

Scientific criteria and the system of indicators allowing to set the priorities of forest utilization, with forest land rented, have been developed. The authors proceeded from the prior goals of integrated forest utilization, long-term forest land usage planning, increase of profitability and social acceptability of forest resources. The methods of ranking different kinds of forest utilization based on the priority criteria and integral evaluation have been proposed.

Keywords: kinds of forest utilization, rent of forest land priority criteria, methods of ranking, integral evaluation.

* Предполагается, что ранжирование видов использования лесов осуществляется в ходе экспертизы, которая может быть возложена на комиссии по проведению государственной экспертизы проектов освоения лесов, созданные в каждом органе управления лесным хозяйством субъекта РФ.

УДК 630*425

С.Н. Тарханов, С.Ю. Бирюков

Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Тарханов Сергей Николаевич родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экологии популяций и сообществ Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 150 печатных работ в области эколого-географической изменчивости хвойных, биоиндикации атмосферного загрязнения и диагностики состояния лесных экосистем.
E-mail: tarkse@ya.ru



Бирюков Сергей Юрьевич родился в 1965 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии популяций и сообществ Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет около 30 печатных работ в области лесной интродукции древесных пород на Европейском Севере, биологической рекультивации техногенно нарушенных территорий.
E-mail: syubir65@ya.ru



ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ РАЗНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ СОСНЫ В НИЗОВЬЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ПРИ АЭРОТЕХНОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

Рассмотрена поврежденность морфологических форм сосны в северной подзоне тайги бассейна Северной Двины в разных лесорастительных условиях и на различном расстоянии от «высоких» источников выбросов. Показана динамика распределения численностей деревьев по категориям состояния и индексов повреждения сосны при аэротехногенном загрязнении и в фоновых условиях у форм, различающихся цветом мужских стробиллов и диаметром кроны. Дана краткая характеристика повреждения и потери хвои у деревьев длиннохвойной и короткохвойной форм.

Ключевые слова: сосна, поврежденность, морфологические формы.

Цель нашей работы – определение зависимости степени поврежденности разных морфологических форм сосны от лесорастительных условий и степени аэротехногенной нагрузки.

Исследования проводили в сосновых насаждениях северной подзоны тайги бассейна Северной Двины. Выделение форм осуществляли на пробных площадях методом непровешенной ходовой линии на различном расстоянии от «высоких» источников выбросов. Диагностические признаки и эколого-биологические особенности морфологических форм сосны рассмотрены нами ранее [2].

Состояние отдельных деревьев оценивали по категориям (классам) повреждения общепринятыми в России методами [4], а в целом для выборок

деревьев разных форм главных лесообразующих видов – по следующей формуле [5]:

$$I = \left(\sum_{i=1}^6 iW_i \right) W^{-1},$$

где I – индекс повреждения;

i – номер класса повреждения (от 1 до 6), балл;

W_i – статистический вес деревьев i -го класса повреждения;

W – сумма статистических весов (численность, запас деревьев).

В качестве статистических весов деревьев разных классов повреждения использовали их численность. Состояние ассимиляционного аппарата оценивали по стандартной методике, разработанной Европейской экономической комиссией (UN–ECE) для стран Европы [1, 8], и шкалам, предложенным В.Т. Ярмишко [7].

В результате воздействия атмосферного загрязнения на лесные сообщества происходит дифференциация деревьев по жизненному состоянию. Как показывает гистограмма распределения частот деревьев краснопыльничковой формы сосны по категориям состояния (рис. 1, а), в сосняках кустарничково-сфагновых северной подзоны тайги наибольшее число деревьев на расстоянии до 5 км от «высоких» источников эмиссий представлено 2-й и 3-й категориями повреждения. Это же характерно и для сосны с желтым цветом микростробилов (рис. 1, б), однако доля неповрежденных деревьев среди этой формы несколько выше.

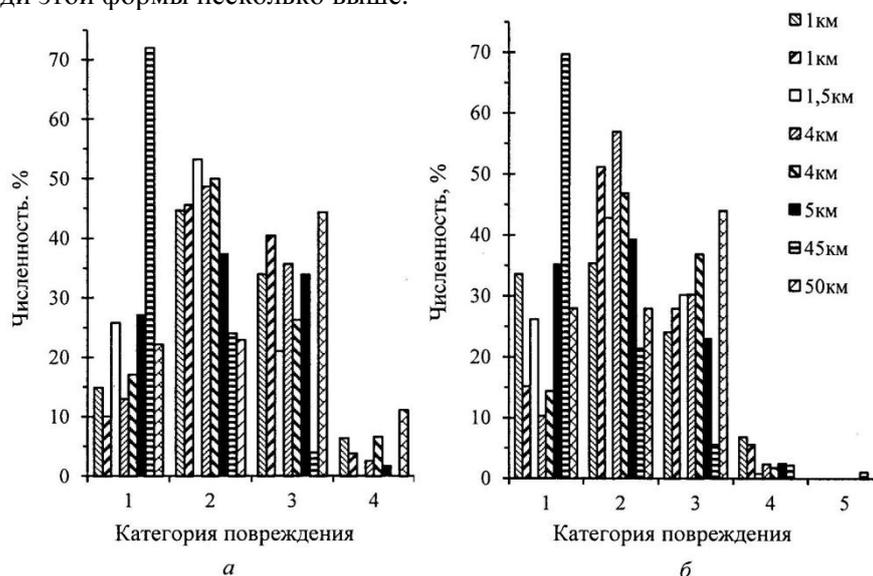


Рис. 1. Распределение деревьев красно- (а) и желтопыльничковой (б) форм сосны по категориям повреждения в насаждениях кустарничково-сфагнового типа северотаежной подзоны на различном расстоянии от «высокого» источника эмиссий

В условиях активного аэротехногенного загрязнения (до 5 км от «высоких» источников эмиссий) у сосны с красной окраской микростробилов наблюдается более значительная поврежденность и потеря хвои на побегах в насаждениях сфагновой группы по сравнению с желтопыльничковой формой. Значительное усыхание ветвей происходит в нижней части кроны и отдельных ветвей в средней и верхней частях (кроме суховершинных, сильно ослабленных деревьев). Дефолиация у них значительно выражена в нижней и верхней частях (от 5 до 70 %), слабее – в средней (до 50 %). В нижней части кроны происходит сильная дефолиация (от 50 до 95 %), у отдельных сильно ослабленных деревьев краснопыльничковой формы с усыхающей вершиной степень дефолиации достигает 100 % в верхней и средней частях кроны.

Степень повреждения хвои в условиях активного атмосферного загрязнения у деревьев краснопыльничковой формы в нижней части кроны оценивается в 1-2 балла (т.е. неповрежденная или слабо поврежденная), в средней и верхней колеблется от 1 до 5 баллов (т.е. от здоровой до сильно поврежденной, отмирающей или сухой). Потеря хвои в нижней части кроны составляет 1–3 балла (от слабой до сильной), в средней и верхней частях колеблется от 0 до 4 баллов (т.е. сильно дифференцирована от нуля до полной потери на отдельных побегах).

Индекс повреждения (I), рассчитанный как средневзвешенное значение из категорий состояния (балл повреждения) деревьев красно- и желтопыльничковой форм сосны, в условиях атмосферного загрязнения северной тайги выше в древостоях сосны кустарничково-сфагнового типа леса по сравнению с сосняками вересково-сфагновыми и кустарничково-травяными, где этот интегральный показатель составляет 1,18...1,44. В сосняках чернично-брусничного типа хуже состояние кроны у сосны с красным цветом микростробилов ($I = 1,64$). Число здоровых деревьев краснопыльничковой формы в этих условиях не превышает 43 %, значительна доля ослабленных (до 57 %) [6]. Обнаруживается некоторое повышение индекса повреждения сосны с красной окраской мужских стробилов в условиях аэротехногенного загрязнения по сравнению с желтопыльничковой сосной, а с желтой – в фоновых условиях для насаждений зеленомошной (рис. 2, *a*) и травяной (рис. 2, *б*) групп типов леса. В насаждениях сосны сфагновой группы на удалении 1...5 км от источников эмиссий этот показатель у обеих форм заметно выше (рис. 2, *в*), чем в менее загрязненных условиях (исключение – участки в районе п. Луковецкий), а между формами различия незначительны.

В сосняках черничных свежих и брусничных по численности доминируют здоровые деревья узкокромной формы (до 86 %), процент ослабленных не более 14. Несколько хуже состояние деревьев узкокромной формы в сосняках черничных влажных, где наблюдается резкое увеличение числа ослабленных деревьев. При сравнении состояния узко- и ширококромной форм в сосняках черничных влажных выборка последней имеет большую, хотя и слабую поврежденность кроны (до 60 % здоровых деревьев), а при произрастании на дренированных почвах (сосняки брусничные) процент

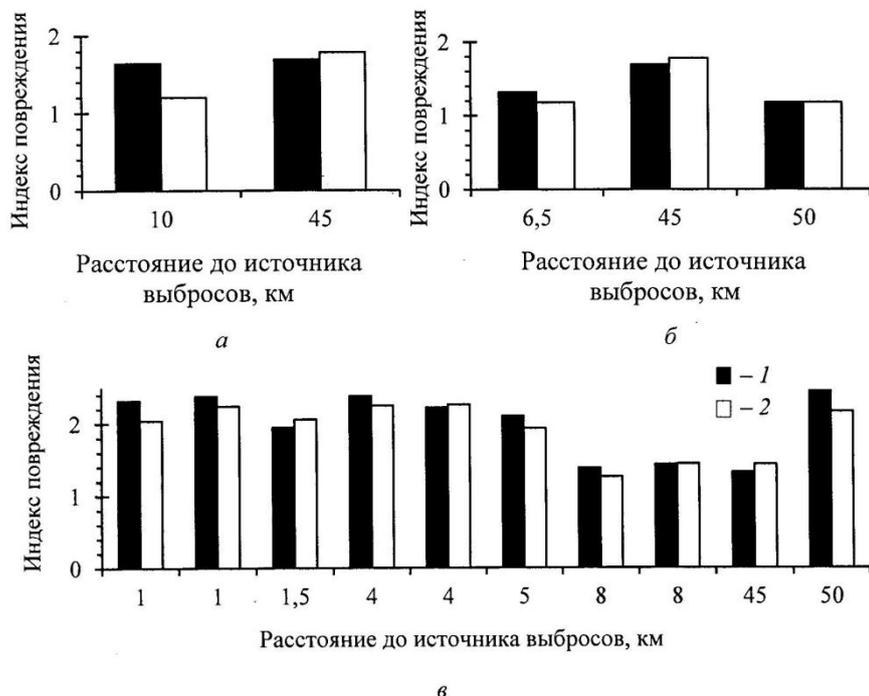


Рис. 2. Индекс повреждения деревьев красно- (1) и желтопыльниковой (2) форм сосны в сосняках зеленомошной (а), травяной (б) и сфагновой (в) групп типов леса северотаежной подзоны

здоровых деревьев ширококромной формы в отдельных древостоях даже выше, чем узкокромной (до 100 %). В сосняках кустарничково-сфагновых на избыточно-увлажненных почвах независимо от расстояния до «высоких» источников выбросов численность здоровых деревьев (особенно ширококромной сосны) снижается (рис. 3). В этих условиях значителен процент ширококромной формы с сильной степенью повреждения кроны (38...47 %), а также сухостойной. В пределах одних и тех же опытных участков сосняков черничных влажных и сфагновой группы типов леса северной тайги индекс повреждения деревьев ширококромной формы выше, чем узкокромной, как в загрязненных, так и фоновых условиях (рис. 4). Причем, в этих сосняках, произрастающих на расстоянии 4,5...11,0 км от «высоких» источников эмиссий, индекс повреждения ширококромной сосны может достигать средних значений, что позволяет классифицировать ее как среднеповрежденную. В сосняках зеленомошной группы это не отмечено.

Установлено, что у длиннохвойной сосны с приближением к источнику выбросов увеличиваются степень повреждения (класс) хвои, дехромация и дефолиация кроны, индекс повреждения дерева. Тенденция усиления поврежденности короткохвойной сосны с приближением к ТЭЦ (в узком диапазоне от 3,5 до 6,0 км) не выражена (см. таблицу); больше повреждается и опадает хвоя; дехромация значительно на 14...27 %, дефолиация кроны – на 13...15 %; у короткохвойной сосны выше индекс повреждения.

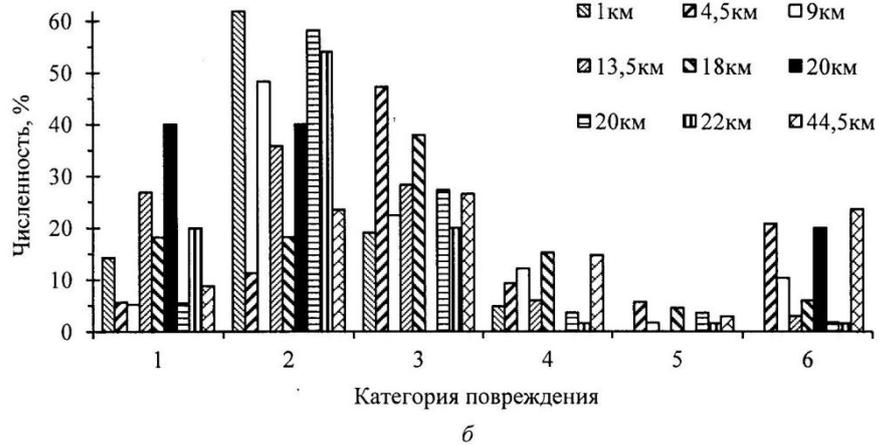


Рис. 3. Распределение деревьев узко- (а) и ширококронной (б) форм сосны по категориям повреждения на различном расстоянии от «высокого» источника эмиссий в насаждениях кустарничково-сфагнового типа северо-таежной подзоны

Поврежденность деревьев разных форм сосны

№ пробной площади	Расстояние до источника выбросов, км	Класс повреждения хвои	Класс потери хвои	Степень дехромации кроны, %	Степень деформации кроны, %	Индекс повреждения дерева
Длиннохвойная сосна						
Т 45д	3,5	1,25	1,00	14,5	14,0	2,2
Т 46	4,0	1,50	1,35	8,7	17,5	1,9
Т 45	4,5	1,70	1,15	11,2	15,7	1,8
Т 34	6,0	1,35	0,85	7,5	8,2	1,2
Короткохвойная сосна						
Т 45д	3,5	2,90	1,95	41,2	27,2	2,45
Т 46	4,0	2,35	2,15	26,5	39,0	2,65
Т 45	4,5	2,55	2,05	25,7	35,5	2,65
Т 34	6,0	2,75	2,80	26,5	53,5	2,95

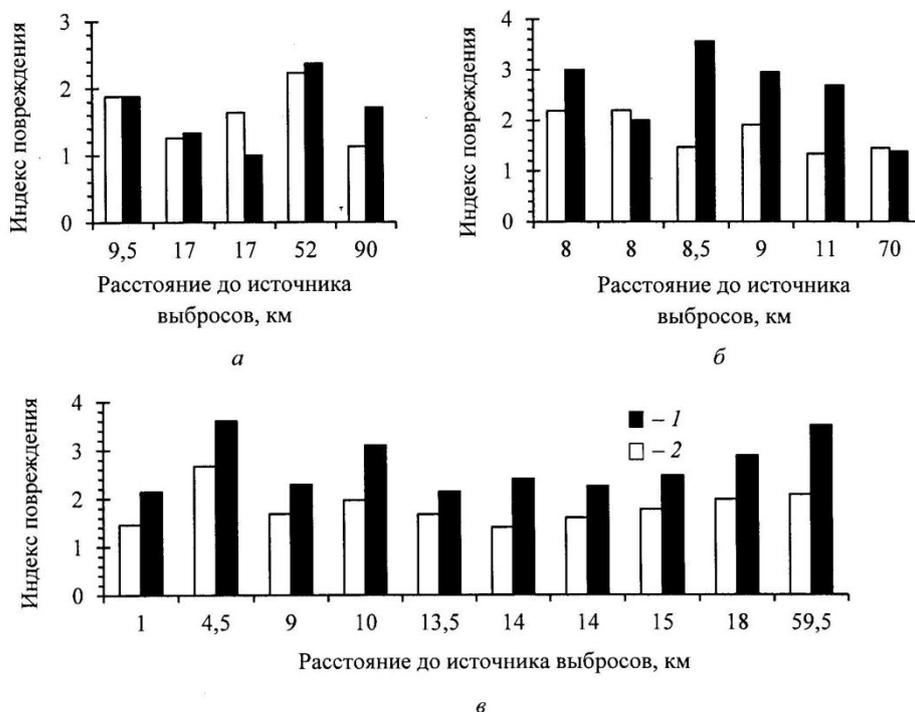


Рис. 4. Индекс повреждения деревьев узко- (1) и ширококронной (2) форм сосны в сосняках зеленомошной (а) и сфагновой (б) групп типов леса и черничных влажных (в) в условиях северотаежной подзоны

Особенно эти различия проявляются вблизи источника эмиссии (за исключением индекса повреждения всего дерева). Длиннохвойная сосна проявляет более высокую устойчивость к совместному воздействию стрессовых факторов (избыточное увлажнение и загрязненность воздуха), что подтверждается нашими предыдущими исследованиями [3].

Таким образом, состояние деревьев разных морфологических форм сосны зависит от лесорастительных условий и степени аэротехногенной нагрузки (в ряду других антропогенных факторов). В условиях активного аэротехногенного загрязнения сильнее повреждены деревья краснопыльничковой и короткохвойной форм сосны. Индекс повреждения деревьев узко-кронной сосны в сосняках черничных влажных и сфагновой группы типов леса северной тайги меньше по сравнению с ширококронной как в загрязненных, так и в фоновых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенная динамика растительного покрова Арктики и Субарктики: принципы и методы изучения // Тр. БИН РАН. СПб., 1995. Вып. 15. 185 с.
2. Внутривидовая изменчивость хвойных и изучение состояния лесорастительных сообществ в условиях загрязнения атмосферы Северо-Двинского бассейна: отчет о НИР (заключ.) / ИЭПС УрО РАН; рук. С.Н. Тарханов. № ГР 01.200.112255; Инв. № 02.2.006 04913. Архангельск, 2005. 467 с.

3. Изучение процессов адаптации и стресса древесных растений в условиях Севера: отчет о НИР (заключ.) / ИЭПС УрО РАН; рук. С.Н. Тарханов № ГР 01.2.00607687; Инв. № 02.2.00951242. Архангельск, 2008. 283 с.

4. Санитарные правила в лесах Российской Федерации. М.: Экология, 1998. 20 с.

5. Цветков В.Ф., Цветков И.В. Леса в условиях аэротехногенного загрязнения. Архангельск, 2003. 354 с.

6. Шекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. 127 с.

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

8. Hanisch B., Kilz E. Waldschaden erkennen Fichte und Kiefer. Stuttgart: Ulmer, 1990. 334 p.

Поступила 29.12.10

S.N. Tarkhanov, S.Yu. Biryukov

Institute of Ecological Problems in the North Ural Division of the Russian Academy of Science

Damage of Different Morphological Forms of the Pine Growing in the Lower Reaches of the Northern Dvina River in the Course of Aerotechnogenic Pollution

The damages of different morphological forms of the pine growing in the northern taiga subzone on the territory of the Northern Dvina river basin under different silvicultural conditions and situated at different distances from «high» emission sources is considered. The dynamics of the tree population distribution as to its status and indices of damage during aerotechnogenic pollution is shown. Also the dynamics of the pine population distribution for the forms notable for their colour of male strobiles and the crown diameter and growing under background conditions is described. A brief description of the damage and loss of needles by the forms with long and short needles is given.

Keywords: pine, damage, morphological forms.

УДК 630*284

Ю.А. Фролов¹, А.А. Сабанин¹, С.Н. Штрахов², В.Ф. Корольчук³

¹ФГУ «Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства»

²Департамент лесного хозяйства по Северо-Западному федеральному округу

³АУ «Маловишерский лесхоз»

Фролов Юрий Александрович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник ФГУ СПбНИИЛХ. Имеет 115 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, физиологии и анатомии растений.

E-mail: spb-niilh@inbox.ru



Сабанин Анатолий Александрович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, директор ФГУ СПбНИИЛХ. Имеет 15 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, физиологии и анатомии растений.

E-mail: spb-niilh@inbox.ru



Штрахов Сергей Николаевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, начальник Департамента лесного хозяйства по Северо-Западному федеральному округу. Имеет 14 печатных работ в области лесоводства и лесоведения, физиологии и анатомии растений.

E-mail: spb-niilh@inbox.ru



Корольчук Валерий Федорович родился в 1970 г., окончил в 2000 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, директор АУ «Маловишерский лесхоз», аспирант ФГУ СПбНИИЛХ. Имеет 4 печатные работы в области лесоводства и лесоведения, физиологии и анатомии растений.

E-mail: spb-niilh@inbox.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДСОЧКИ С РАЗЛИЧНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ НА ВЫХОД ДЕЛОВЫХ СОРТИМЕНТОВ

Проанализировано действие химических стимуляторов подсочки на отпад деревьев, текущий прирост по объему и выход деловых сортиментов. Увеличение отпада деревьев (до 15 % за 10 лет) вызывает использование 75- и 50 %-й серной кислоты. При разрешенных способах подсочки снижение текущего прироста невелико и выход деловой древесины существенно не меняется.

Ключевые слова: сосна, подсочка, химическое и биологическое воздействие, прирост, выход древесины, деловой сортимент.

Наиболее подробно товарная структура заподсоченных сосновых древостоев для условий Северо-Запада была исследована А.Г. Мошкалевым

с соавторами на основании данных, собранных на опытных объектах ЛенНИИЛХ и соответствующим образом обработанных и проанализированных. На основании проведенных исследований были разработаны методические указания по составлению сортиментных и товарных таблиц для сосны после подсочки, а также составлены и предложены для внедрения в производство соответствующие таблицы по Северо-Западу [1, 2]. Согласно данным таблиц, после долгосрочной 10-летней подсочки выход крупной деловой древесины, в основном 1-го сорта, снижается на 3...7 %, а средней деловой древесины 2-3-го сортов повышается на 2...4 % при интенсивных способах экспериментальной подсочки с использованием 75- и 50 %-й серной кислоты по заболонной древесине. При этом выход дров также повышается на 2...3 %.

При менее интенсивных способах подсочки, разрешенных действующими правилами, снижение выхода крупной деловой древесины 1-го сорта составляет 1...3 %, выход средней деловой древесины 2-3-го сортов увеличивается на 1...2 %, выход дров остается без изменений.

Следует отметить, что при оценке товарной структуры заподсоченных древостоев нельзя пользоваться таблицами, предназначенными для неподсоченных древостоев, так как при этом допускаются большие ошибки (до 15...30 %) в расчете выхода деловой древесины по категориям крупности и сортам.

Обобщая результаты исследований по изучению влияния подсочки на отпад деревьев, текущий прирост и выход деловых сортиментов, в целом можно подсчитать потери в древесине и выходе деловых сортиментов в результате проведения подсочки. Эти потери складываются из незначительного увеличения отпада деревьев, уменьшения текущего прироста по объему и некоторого снижения выхода крупной деловой древесины, главным образом, при интенсивных способах экспериментальной подсочки. Необходимо отметить, что при разрешенных действующими правилами способами подсочки отпад деревьев в подсоченных древостоях, как правило, не превышает отпад в неподсоченных древостоях. Увеличенный отпад деревьев в подсоченных древостоях (до 15 % за 10 лет против 6,0...6,6 % в неподсоченных) может происходить только при интенсивных способах экспериментальной долгосрочной (10-летней) подсочки, например, с использованием 75- и 50 %-й серной кислоты по заболонной древесине, и спустя еще не менее 5 лет после окончания подсочки, т.е. среди своевременно не срубленных и оставленных на корню или в древостоях, ослабленных по тем или иным причинам.

Снижение текущего прироста по объему ствола у подсоченных деревьев при разрешенных способах подсочки за 10 лет составляет от 0,4 до 0,6 % против 0,2 % у неподсоченных. Так как текущий прирост у приспевающих, спелых и, тем более, перестойных древостоев невелик, то и снижение текущего прироста невелико. Например, при среднем запасе подсоченных древостоев 150 м³ на 1 га площади это составляет от 0,30 до 0,75 м³. Таким образом, при рубках главного пользования подсоченных древостоев выход деловой древесины существенно не изменяется. Что касается некоторого снижения сортности пиловочника, то оно с избытком компенсируется дополнительным лесопользованием в виде добытой живицы.

Рекомендованные нами [3] к использованию при подсочке наиболее эффективные биологические стимуляторы смолообразования и смолывыделения увеличивают выход живицы на подновку, карру, дерево на 70 % по сравнению с обычной подсочкой без химического воздействия. Отрицательные последствия проявляются в той же степени, что и при обычной подсочке. Например, при обычной 9-летней подсочке с использованием биологических стимуляторов показатели снижения текущего прироста по объему составляют 0,4 % против 0,2 % у контрольных неподсоченных деревьев. По нашим расчетам, при применении биологических стимуляторов выход крупной древесины 1-го сорта снижается на 1...2 %, а выход средней деловой древесины 2-3-го сортов повышается на 1 %. При этом выход дров остается без изменений.

Согласно расчетам ЦНИИЛХИ, смолопродуктивность сосновых древостоев и производительность труда на основных производственных операциях при современных методах подсочки с использованием эффективных стимуляторов смолообразования и смолывыделения увеличивается в 2 раза, а себестоимость добычи живицы снижается на 20...30 %. Поэтому подсочка сосны с использованием биологических стимуляторов является эффективной и целесообразной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по составлению сортиментных и товарных таблиц для сосны после подсочки и указанные таблицы по Северо-Западу / А.Г. Мошкалев, И.П. Кондратович, Г.В. Филиппов, И.И. Вохмянин. Л.: ЛенНИИЛХ, Гослесхоз СССР, 1972. 26 с.
2. Таксация товарной структуры заподсоченных сосняков Северо-Запада РСФСР / А.Г. Мошкалев [и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, Гослесхоз СССР, 1983. 38 с.
3. *Штрахов С.Н.* Повышение смолопродуктивности сосны обыкновенной и эффективности ее подсочки: автореф. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2009. 18 с.

Поступила 11.05.2010

Yu. A. Frolov¹, A.A. Sabanin¹, S.N. Shtrakhov², V.F. Korolchuk³

¹St. Petersburg Forestry Research Institute

²Forestry Department, North-West Federal District

³Malovisherskiy leskhoz

Investigation of Tapping Effect with Various Chemicals Used on the Yield of Commercial Assortments

The effect of chemicals stimulating tapping on trees mortality, current increase in output by volume and commercial assortments yield has been analysed. The use of 50 % and 75 % sulfuric acid causes trees mortality increase (up to 15 % for 10 year period). With proper tapping methods used, the decrease in current growth increment is small and timber output does not change significantly.

Keywords: pine, tapping, chemical and biological effect, growth increment, timber output, commercial assortment.



УДК 625.877:630*384.4

Ю.А. Ширнин, В.И. Чернякевич

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



Чернякевич Виктор Иосифович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса Марийского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области сухопутного транспорта леса.
E-mail: kirsanov@marstu.mari.ru



РАСЧЕТ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ В ПЛИТАХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Приведена методика расчета изгибающих моментов, возникающих в железобетонных плитах лесовозных дорог, при наличии пластических деформаций в их грунтовом основании.

Ключевые слова: железобетонная дорожная плита, контактные напряжения, нагрузки, изгибающие моменты, пластические деформации.

Нагрузки от колес лесовозных автопоездов и контактные напряжения, распределяемые дорожной плитой, образуют систему сил и изгибающих моментов, воздействующих на плиту, что в конечном итоге определяет параметры ее сечения и расход арматурной стали.

Согласно методике [2], действующие на дорожную плиту положительные и отрицательные изгибающие моменты определяются с использованием теории конструкций, взаимодействующих с упругим линейно-деформируемым основанием, в котором пластические деформации отсутствуют. Однако, как показывают исследования и подтверждает практика эксплуатации лесовозных дорог со сборным железобетонным покрытием, в малопрочном и переувлажненном грунтовом основании плит появляются и накапливаются пластические деформации грунта, изменяющие изгибающие моменты и характер распределения контактных напряжений.

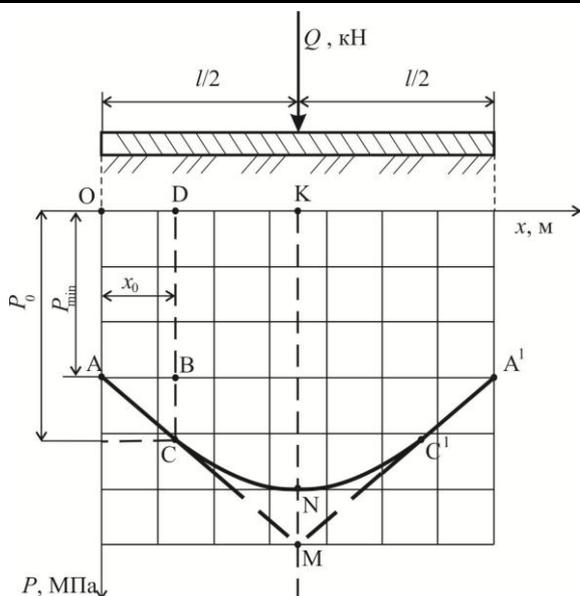


Рис. 1. Эпюра контактных напряжений ($ACNC^1A^1$), построенная с учетом пластических деформаций грунтового основания

Как отмечал М.И. Горбунов-Посадов [1], неучет пластических деформаций грунта в конструкциях, работающих на восприятие положительных изгибающих моментов, может привести к излишкам запаса прочности и перерасходу конструкционных материалов. И наоборот, при нагрузках, приложенных вблизи краев конструкции, она стремится изогнуться выпуклостью вверх (расчет на отрицательный изгибающий момент), неучет пластических деформаций может неблагоприятно отразиться на прочности сооружения.

Выполненные нами теоретические исследования [7] показывают, что при учете пластических деформаций грунта эпюра контактных напряжений, распределяемых плитой (рис. 1), состоит из двух сегментов.

Из рис. 1 видно, что краевые участки эпюры AC и A^1C^1 , в которых возникают зоны пластичности грунта, ограничены предельными прямыми, параметры которых определяются решением В.В. Соколовского, а ее центральный участок CNC^1 , остающийся в упругом линейно-деформированном состоянии, – параболой по решению В.А. Флорина [3].

В методике расчета железобетонных дорожных плит [2] приняты три основных расчетных положения нагрузки на дорожной плите: первое – одиночная нагрузка в центре плиты (расчет на положительный изгибающий момент); второе – нагрузка от двух колес спаренной оси устанавливается симметрично середине плиты; третье – одиночная нагрузка на конце плиты (расчет на отрицательный изгибающий момент).

Рассмотрим определение максимального положительного изгибающего момента при первом расчетном положении нагрузки в центре плиты (рис. 1). Его величина определяет армирование нижней зоны дорожной плиты. Данный положительный изгибающий момент целиком зависит

от контактных напряжений, распределенных на половине длины плиты. Разделим эпюру контактных напряжений на три фигуры: прямоугольник OABD, треугольник ABC и фигуру CNKD, ограниченную в нижней части участком параболы CN вида [3]: $P_x = a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + P_H$.

На основании принципа суперпозиции действия сил изгибающий момент будет определяться площадью фигуры, дающей равнодействующую силу, умноженную на расстояние от центра тяжести фигуры до рассматриваемого сечения – середины плиты.

Найдем координату центра тяжести ($x_{ц.т}$) каждой из фигур:

а) прямоугольник OABD

$$x_{ц.т1} = \frac{1}{2} x_0 ; \quad (1)$$

б) треугольник ABC

$$x_{ц.т2} = \frac{2}{3} x_0 ; \quad (2)$$

в) фигура CNKD

$$x_{ц.т3} = \frac{\iint_D x dx dp}{\iint_D dx dp} ; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \iint_D dx dp &= \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} dx \int_0^{a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + P_H} dp = \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \left[a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + P_H \right] dx = \\ &= \frac{a_H}{3} \left(x - \frac{l}{2} \right)^3 \Big|_{x_0}^{\frac{l}{2}} + P_H \left(\frac{l}{2} - x_0 \right) = \frac{a_H}{3} \left(\frac{l}{2} - x_0 \right)^3 + P_H \left(\frac{l}{2} - x_0 \right); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\iint_D x dx dp = \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} x dx \int_0^{a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + P_H} dp = \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \left[a_H x \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + x P_H \right] dx. \quad (5)$$

Для облегчения вычислений выразим переменную x первого слагаемого подынтегральной суммы (5) следующим образом:

$$x = x + \frac{l}{2} - \frac{l}{2}. \quad (6)$$

Тогда

$$\begin{aligned}
 & \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \left\{ a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 \left[\left(x - \frac{l}{2} \right) + \frac{l}{2} \right] \right\} d \left(x - \frac{l}{2} \right) + \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} P_H x dx = \\
 & = a_H \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \left(x - \frac{l}{2} \right)^3 d \left(x - \frac{l}{2} \right) + \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \frac{a_H l}{2} \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 d \left(x - \frac{l}{2} \right) + \frac{P_H x^2}{2} \Big|_{x_0}^{\frac{l}{2}} = \\
 & = -\frac{a_H}{4} \left(x_0 - \frac{l}{2} \right) - \frac{a_H l}{6} \left(x_0 - \frac{l}{2} \right)^3 + \frac{1}{2} P_H \left(\frac{l^2}{4} - x_0^2 \right) = \\
 & = \left(x_0 - \frac{l}{2} \right)^3 \left[\frac{a_H}{4} \left(x_0 - \frac{l}{2} \right) - \frac{a_H l}{6} \right] + \frac{1}{2} P_H \left(\frac{l^2}{4} - x_0^2 \right) = \\
 & = \left(\frac{l}{2} - x_0 \right)^3 \frac{a_H}{4} \left(\frac{l}{6} + x_0 \right) + \frac{1}{2} P_H \left(\frac{l^2}{4} - x_0^2 \right). \quad (7)
 \end{aligned}$$

Как указывалось выше, максимальный положительный изгибающий МОМЕНТ

$$\begin{aligned}
 M_{\max}^{\text{пол}} & = M_1 + M_2 + M_3 = \\
 & = S_{\text{OADB}} \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т1}} \right) + S_{\text{ABC}} \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т2}} \right) + S_{\text{CNKD}} \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т3}} \right) = \\
 & = (P_{\min} x_0) \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т1}} \right) + \frac{1}{2} (P_0 - P_{\min}) x_0 \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т2}} \right) + \\
 & \quad + \int_{x_0}^{\frac{l}{2}} \left[a_H \left(x - \frac{l}{2} \right)^2 + P_H \right] dx \left(\frac{l}{2} - x_{\text{ц.т3}} \right). \quad (8)
 \end{aligned}$$

Нами выполнены расчеты положительных изгибающих моментов по методике [2], по разрабатываемому методу, а также натурные эксперименты на дорожно-испытательном полигоне СПбГЛТА [4]. На полигоне были построены опытные участки сборного дорожного покрытия из железобетонных плит шириной 1,0 м и длиной от 1,0 до 3,0 м. Плиты длиной 1,0 и 1,5 м относятся к расчетной категории коротких полос, имеющих конечную длину и жесткость, а плиты длиной 2,0 и, особенно, 3,0 м – к категории гибких бесконечно длинных полос. Известно, что наиболее неблагоприятным для эксплуатации дорог является весенне-осенний период, что связано с избыточным влагонакоплением, вызывающим снижение прочности грунтов. Поэтому эксперименты, целью которых являлось изучение напряженно-деформированного состояния как плит, так и грунтового основания, проводились в осенний период при влажности грунта основания 0,80...0,85 от границы текучести и модуле его деформации 5,5 МПа. В экспериментах использовали лесовозный автопоезд МА3-509+2-Р-15 с объемом веза хлыстов 23,0 м³. Определение изгибающих моментов в плитах и контактных напряжений в грунтовом основании осуществляли известными тензометрическими

методами. Результаты экспериментов обрабатывали методами математической статистики. Результаты расчетов и экспериментов приведены в таблице.

Длина плиты, м	Максимальные положительные изгибающие моменты, кН·м		
	по практической методике расчета плит	по результатам экспериментов	по предлагаемому методу
1,0	7,40	3,22	3,78
1,5	10,10	6,90	6,00
2,0	14,30	9,60	10,30
3,0	17,17	15,10	Нет свед.

Из таблицы видно, что для коротких плит (1,0 и 1,5 м), относящихся к расчетной категории полос конечной длины и жесткости, результаты экспериментов близки к расчетам положительного изгибающего момента по разработанному нами методу, учитывающему пластические деформации грунта. При этом положительные изгибающие моменты для этих плит, определенные по методике [2], в 1,5–2 раза превышают их экспериментальные значения, что согласуется с исследованиями М.И. Горбунова-Посадова [1] и В.А. Флорина [3]. Для плит, относящихся к категории бесконечных в расчетном отношении, и, особенно, для плиты длиной 3,0 м значение положительного изгибающего момента, вычисленного по упругому решению, близко к экспериментальному [3]. Это объясняется тем, что при ее центральном нагружении напряжения в грунтовом основании в краевых зонах не превышают критических значений, и основание работает как упругое линейно-деформируемое полупространство. М.И. Горбунов-Посадов также отмечал [1], что для гибких полос теория не дает столь резкой концентрации напряжений вблизи краев и учет пластических деформаций для них имеет меньшее значение. Поэтому положительный изгибающий момент по разрабатываемому нами методу для данной плиты не определялся.

Полученные расчетные зависимости справедливы и для второго основного расчетного положения нагрузки на дорожной плите – ее нагружении колесами прицепа-ропуски или колесами других спаренных осей симметрично середины плиты (расчет на отрицательный изгибающий момент). При этом в формулу (8) вводится значение изгибающего момента M_4 со знаком минус, и она приобретает следующий вид:

$$M^{\text{отр}} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4,$$

где M_1, M_2, M_3 – изгибающие моменты от контактных напряжений, определяемые по формуле (8);

M_4 – изгибающий момент от колеса прицепа-ропуски или иной спаренной оси, определяемый по формуле $M_4 = Q_p a$;

Q_p – расчетная нагрузка на колесо спаренной оси, кН;

a – расстояние от центра спаренной оси до середины плиты (эксцентриситет нагрузки), м.

Накопленный опыт строительства и эксплуатации дорог со сборным железобетонным покрытием убедительно подтверждает их преимущества по сравнению с другими видами покрытий. В частности, они обладают высокой индустриализацией изготовления и механизацией строительства, низким сопротивлением движению, что позволяет снизить расход топлива, повысить скорость движения и производительность лесовозных автопоездов.

Основными негативными факторами, сдерживающими широкое применение сборных колеиных покрытий, по нашему мнению, являются высокая стоимость изготовления плит и слабое стыковое соединение их в колесоприводе. Высокая стоимость плит, изготавливаемых из обычного тяжелого бетона, наряду с другими факторами обусловлена также значительной стоимостью высокопрочного крупнозернистого заполнителя тяжелого цементного бетона – щебня или гравия, которые приходится транспортировать в лесные регионы за сотни и даже тысячи километров.

Нами были выполнены теоретические, лабораторные и опытно-производственные исследования по использованию мелкозернистого песчаного бетона для изготовления дорожных плит [5]. Мелкозернистый бетон относится к разновидности тяжелого цементного бетона. Компоненты мелкозернистого бетона: вяжущее (цемент), мелкозернистый заполнитель (местный песок), вода и необходимые добавки. Крупнозернистые заполнители (щебень или гравий) отсутствуют. Это позволяет снизить стоимость дорожных плит уже на стадии изготовления, что важно в современных экономических условиях. Для изготовления плит из такого бетона не требуется специального оборудования, их можно выпускать на существующих заводах ЖБИ. Единственным отличием является необходимость пригрузки поверхности плиты на стадии изготовления (формования).

Испытания образцов показали высокую морозостойкость, прочность, повышенное сопротивление изгибу, которые обеспечиваются однородностью и мелкозернистостью бетона, мезоструктура которого близка к пороной. Нами были изготовлены и испытаны опытные партии дорожных плит из мелкозернистого бетона, которые успешно прошли заводскую (ОАО «КПД», г. Йошкар-Ола) и производственную проверку на действующий лесовозной дороге Майского ЛПХ в Кировской области.

Теоретические расчеты, многочисленные эксперименты и практика эксплуатации свидетельствуют о том, что самым слабым элементом однослойного сборного покрытия является стыковое соединение плит. Сквозь стыки проникает вода, уменьшая прочность грунтового основания. Возникающие в них пороговые неровности вызывают резонансные колебания лесовозного автопоезда и могут привести к возрастанию динамических нагрузок, вредно сказывающихся на эксплуатации как транспорта, так и дороги. Применяемое в настоящее время соединение плит между собой в колесоприводе с помощью деревянного бруска, работающего в абразивной и влажной среде, быстро выходит из строя. Многочисленные попытки усовершенствовать только саму конструкцию стыкового соединения не приносят желаемых результатов.

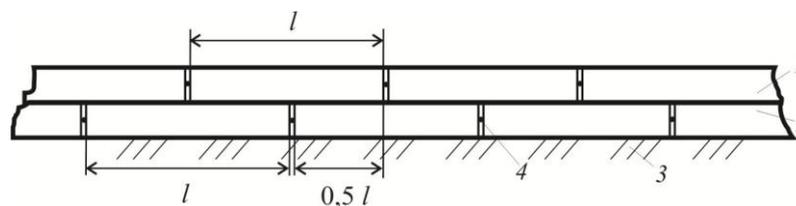


Рис. 2. Двухслойное дорожное покрытие из железобетонных плит (l – длина плиты): 1 – плиты верхнего слоя, 2 – плиты нижнего слоя, 3 – грунтовое основание, 4 – сварные стыковые соединения

Для комплексного решения проблемы стыкового соединения плит нами предложена многослойная (двухслойная) конструкция сборного дорожного покрытия, приведенная на рис. 2, из которого видно, что плиты верхнего слоя смещены на половину их длины относительно плит нижнего слоя, а их стыковые соединения размещены в центре нижних плит. В таком покрытии колесная нагрузка от транспорта передается плитами верхнего слоя, усиленного сварными стыками, как минимум на две плиты нижнего слоя и в дальнейшем распределяется на грунтовое основание. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования двухслойного сборного дорожного покрытия показывают существенное уменьшение напряжений в грунтовом основании и выравнивание их по длине плиты по сравнению с однослойным сборным дорожным покрытием [5]. Также снижаются и изгибающие моменты в самих плитах, что позволяет снизить расход дорогостоящей арматурной стали на их изготовление. Рассматриваемая двухслойная дорожная конструкция может быть усилена слоем нетканого синтетического материала – теплонита, который предназначен для гидро- и теплоизоляции и способен защитить дорожную конструкцию от морозного пучения грунта, что актуально для условий России [6]. Перечисленные выше факторы позволяют снизить затраты на содержание и ремонт как самого пути, так и лесовозного транспорта, повысить его производительность.

Выводы

1. Разработанная методика расчета контактных напряжений и изгибающих моментов в дорожных плитах с учетом пластических деформаций грунтового основания обладает элементами научной новизны, уточняет и развивает теорию профессора В.А. Флорина и других ученых.
2. Двухслойное сборное дорожное покрытие из плит мелкозернистого (песчаного) железобетона позволяет снизить стоимость покрытия, решить проблему стыкового соединения, создать в лесных регионах надежную транспортную инфраструктуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1953. 516 с.

2. Коновалов С.В., Козагон М.С. Практическая методика расчета жестких дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок. М.: Высш. шк., 1970. 219 с.
3. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Т. 1. М.; Л.: Госстройиздат, 1959. 372 с.
4. Чернякевич В.И., Петровский А.В., Серов В.П. Основные результаты исследования взаимодействия железобетонных плит различных типоразмеров с грунтовым основанием временных лесовозных дорог // Межвуз. сб. статей и законченных НИР. Л.: РИО ЛТА, 1976. Вып. IV. С. 75–76.
5. Чернякевич В.И., Пушкаренко Н.Н., Чернякевич Л.М. Конструирование и расчет многослойного дорожного покрытия из железобетонных плит. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2007. 180 с.
6. Чернякевич В.И. Ресурсосберегающая технология строительства лесных дорог // Вестник МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 3. С. 54–60.
7. Ширнин Ю.А., Чернякевич В.И. Напряжения и деформации грунтового основания железобетонных плит лесовозных дорог // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 41–46. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 20.01.10

Yu.A. Shirnin, V.I. Chernyakevich
Mari El State Technical University

Computation of Bending Moments in the Slabs of Forest Roads in Case of Foundation Plastic Deformation Has Been Performed

The method for computing bending moments that arise in forest roads concrete slabs if plastic deformation of the road foundation occurs has been proposed.

Keywords: reinforced concrete road slab, contact stresses, loads, bending moments, plastic deformations.

УДК 624.138.232

С.А. Чудинов

Уральский государственный лесотехнический университет

Чудинов Сергей Александрович родился в 1986 г., окончил в 2008 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант кафедры транспорта и дорожного строительства. Имеет 9 печатных работ в области укрепления грунтов с использованием полимерных добавок.
E-mail: serg-chudinov@yandex.ru



ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ, УКРЕПЛЕННЫХ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ С ДОБАВКОЙ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТА

Проведены производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита. Доказана эффективность применения данного комплексного вяжущего при строительстве покрытий и оснований автомобильных дорог из укрепленных грунтов.

Ключевые слова: производственные испытания, цементогрунт, укрепленный грунт, полиэлектролит, комплексное вяжущее.

К настоящему времени накоплен большой опыт по применению укрепленных грунтов для строительства оснований и покрытий автомобильных дорог. Данный способ хорошо себя зарекомендовал как эффективный, экономичный и универсальный метод строительства конструктивных слоев дорожных одежд в местах, где отсутствуют запасы каменных материалов*.

В ходе проведенных теоретических и лабораторных исследований по улучшению и интенсификации процессов структурообразования грунтов, укрепленных портландцементом, высокую эффективность показал полиэлектролит.

Для проверки результатов исследований грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита, в производственных условиях были построены опытные участки на дорогах Свердловской области и Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО).

В ходе работ в июле 2009 г. на автомобильной дороге Верхняя Синячиха – Махнево – Болотовское (Свердловская область) было построено четыре опытных участка (№ 1 – № 4) протяженностью 100 м каждый. Дорожная одежда представляла собой однослойную конструкцию толщиной 0,2 м из укрепленного суглинистого грунта (число пластичности $I_p = 11$).

* Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В.М. Безрук, И.Л. Гулячков, Т.М. Луканина, Р.А. Агапова. М.: Транспорт, 1982. 231 с.

© Чудинов С.А., 2011

Для подтверждения высокой действенности работы портландцемента с добавкой полиэлектролита было построено (октябрь 2010 г.) четыре опытных участка (№ 5 – № 8) протяженностью 100 м каждый автомобильной дороги п. Самза – п. Зеленоборск (ХМАО). Дорожная одежда включала слой укрепленного суглинка (число пластичности $I_p = 15$) толщиной 0,2 м, уложенного на основание из местного песка.

Количество вносимых добавок для укрепления грунтов на каждом из опытных участков двух автомобильных дорог представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Количество добавок (% от массы грунта)
на опытных участках автомобильных дорог Свердловской области и ХМАО**

№ участка	Портландцемент	Полиэлектролит
1/5	6/7	0
2/6	6/7	0,10/0,20
3/7	8/9	0,05/0,10
4/8	8/9	0

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, в числителе приведены данные для дороги Верхняя Синячиха – Махнево – Болотовское, в знаменателе – п. Самза – п. Зеленоборск.

Технологическая последовательность процессов укрепления грунтов изложена в табл. 2.

Таблица 2

**Технологическая последовательность строительства опытных участков
из цементогрунта с использованием полиэлектролита**

№ операции	Описание рабочих процессов в порядке их технологической последовательности
1	Размельчение грунта дорожной фрезой
2	Подвозка портландцемента автоцементовозами
3	Распределение портландцемента на поверхность грунта
4	Смешение портландцемента с грунтом дорожной фрезой
5	Подвозка воды и полиэлектролита, приготовление раствора
6	Распределение раствора полиэлектролита на поверхность грунта поливочной машиной
7	Смешение раствора полиэлектролита с грунтом дорожной фрезой
8	Предварительная подкатка основания катком за два прохода
9	Профилирование проезжей части автогрейдером
10	Окончательное уплотнение проезжей части катком на пневматических шинах
11	Уход за укрепленным слоем грунта

**Результаты испытаний опытных участков
на автомобильных дорогах Свердловской области и ХМАО**

№ участка	Общий модуль упругости, МПа	Среднее количество воздействия ударником СоюздорНИИ
1/5	152/161	28/35
2/6	248/271	49/66
3/7	314/391	62/82
4/8	195/233	36/45

При строительстве опытных участков на первой дороге было обнаружено существенное изменение структуры грунтов, обработанных портландцементом с добавкой полиэлектrolита. Укрепленный грунт приобрел более однородное, гомогенное и мелкодисперсное состояние. Коэффициент уплотнения на участках №1 и №4 составил 0,96, на участках №2 и №3 – 0,98.

Одним из основных показателей работоспособности дорожных одежд являются их деформативные свойства. Поэтому на опытных участках были определены фактические модули упругости конструктивных слоев, а также среднее количество воздействий ударником СоюздорНИИ. Анализ результатов испытаний (табл. 3), полученных осенью 2009 г., показал, что введение полиэлектrolита на участках № 1 – № 4 повысило общий модуль упругости дорожной конструкции в среднем на 62 %, а количество воздействий ударником СоюздорНИИ на 74 %.

Из-за поздних сроков строительства второй дороги и начавшихся дождей влажность грунта была больше оптимальной на 10 %. Активное структурирующее действие полиэлектrolита позволило даже в этих условиях добиться однородной мелкодисперсной структуры цементогрунта. Кроме того, в результате прекращения процессов сорбции воды на поверхностях глинистых частиц влажность укрепленного грунта к концу окончательного уплотнения соответствовала оптимальной. Заметим, что влажность цементогрунта без добавки полиэлектrolита после уплотнения превышала оптимальную на 6 %. Вследствие этого коэффициент уплотнения на участках № 5 и № 8 этой дороги составил 0,85, на участках № 6 и № 7 – 0,98.

В результате испытаний, проведенных через месяц после строительства опытных участков (участки № 5 – № 8, табл. 3), было установлено, что добавка полиэлектrolита позволила повысить общий модуль упругости дорожной конструкции в среднем на 68 %, а количество воздействий ударником СоюздорНИИ на 85 %.

Заметим, что экономия цемента с добавкой небольшого количества полиэлектrolита на участках № 1 – № 4 составляет более 33 %, а на участках № 5 – № 8 – более 29 %.

Таким образом, данные производственных испытаний грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита, позволяют сделать следующие выводы.

1. Результаты испытаний грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита, в производственных условиях подтвердили данные теоретических и лабораторных исследований.

2. Добавка полиэлектролита значительно повышает прочностные показатели цементогрунта, что дает возможность снизить расход данного минерального вяжущего в среднем на 20...35 %.

3. Введение полиэлектролита позволяет производить укрепление переувлажненных грунтов. При этом, благодаря процессам структурирования грунтовых частиц и освобождения с их поверхностей сорбционной воды, цементогрунт приобретает требуемый коэффициент уплотнения. Данное свойство является актуальным при строительстве лесовозных автомобильных дорог в зонах с избыточным увлажнением.

4. Введение полиэлектролита при укреплении грунтов портландцементом не усложняет технологию производства работ, так как данный реагент вводится в виде водного раствора на стадии увлажнения цементогрунтовой смеси. Приготовление раствора полиэлектролита необходимой концентрации не требует специального оборудования и может осуществляться непосредственно на месте строительства дороги.

5. Результаты производственных испытаний подтверждают практическую возможность применения комплексного метода укрепления грунтов портландцементом с добавкой полиэлектролита.

6. Цементогрунт с добавкой полиэлектролита может найти применение при строительстве лесовозных автомобильных дорог, так как он отвечает основным требованиям, предъявляемым к дорожно-строительным материалам для устройства покрытий лесовозных автомобильных дорог.

Поступила 10.04.10

S.A. Chudinov

Ural State Forestry Engineering University

In-process Testing of the Grounds Reinforced with Portland Cement Containing Polyelectrolyte Additive

In-process testing of the grounds reinforced with portland cement containing polyelectrolyte additive has been performed. The feasibility of the named composite binding for the road pavement and base is proved.

Keywords: in-process testing, soil cement, reinforced ground, polyelectrolyte, composite binding.

УДК 630*68

М.А. Тарасова

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

Тарасова Мария Степановна родилась в 1938 г., окончила в 1960 г. Архангельский педагогический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики, вычислительной техники и методики преподавания информатики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 70 научных трудов в области компьютерного моделирования.
E-mail: c.inform@pomorsu.ru



МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Предложена система научно обоснованных критериев, применяемых для оценки эффективности работы лесопромышленного комплекса на уровне промышленного региона.

Ключевые слова: технологический процесс, лесосырьевые ресурсы, компьютерное моделирование, математическая модель, многокритериальная оптимизация.

Интенсификация производства предполагает решение важнейших задач увеличения производительности промышленных установок, снижения издержек производства, повышения качества принятия управленческих решений по организации технологических процессов. Выполнение этих задач тесно связано с улучшением организации производства на действующих предприятиях, оптимизацией производственных процессов, поиском оптимальных решений в заданных условиях, удовлетворяющих некоторым заданным критериям. Научное планирование производства требует не только проведения качественного анализа, но и оценки его количественных характеристик. Основные трудности при решении подобных задач сводятся к составлению математических моделей, включающих описание технологических процессов, изучению их динамических свойств, установлению количественных зависимостей между технологическими и экономическими факторами, разработке алгоритмов и методов оптимизации.

Наиболее сложными являются имитационные модели, которые позволяют получить сведения о функционировании системы во времени, учесть дискретные, непрерывные характеристики, случайные воздействия и т. д. При имитационном моделировании на ЭВМ реальный процесс заменяется экспериментом с математической моделью, что дает возможность многократно воспроизвести один и тот же процесс за ограниченный промежуток

времени. Кроме того, имитационное моделирование позволяет решать проблемы построения различных сложных систем, варьировать исходные условия, многократно воспроизводить один и тот же процесс за ограниченный промежуток времени, выбирать наилучший вариант из возможных в заданных условиях с последующей статистической обработкой результатов машинного эксперимента.

В современных условиях особенно остро стоит вопрос рационального расходования лесосырьевых ресурсов. Воспроизводство леса – достаточно длительный процесс. И хотя лес относится к возобновляемым ресурсам, на восстановление лесопользовательской базы требуются десятки лет (100...120 лет для качественных хвойных лесов). Существенные перерубы расчетной лесосеки (особенно по хвойным породам) в течение многих лет приводят к истощению запасов леса в экономически освоенных прирельсовых, приречных и др. территориях. Ресурсы пиловочного сырья для лесопильного производства снижаются за счет ухудшения сырьевой базы, размерно-качественного состава сырья, снижения его средней толщины. Недостаточное количество дорог широкой колеи, сезонный характер водного магистрального транспорта, истощение сырьевых запасов в районах промышленного освоения лесов создают значительные трудности в обеспечении лесопильной промышленности сырьем. Освоение новых лесных массивов требует значительных трудозатрат на строительство дорог, подготовку инфраструктуры, проведение проектных работ и т.д.

Для наиболее рациональной организации существующего производства необходимо, чтобы оно носило непрерывный характер, не нарушало экологического равновесия и обеспечивало потребности народного хозяйства. Если предприятие ведет заготовку деловой древесины, известны первоначальный объем древесины на его территории, ежегодный прирост, годовой объем заготовки, важно знать объем деловой древесины через n лет. Компьютерное моделирование позволяет определить тот минимальный объем ежегодной заготовки, который обеспечит естественное непрерывное воспроизводство леса в течение предстоящих 100 лет. Результаты машинного эксперимента дают возможность найти научно обоснованный допустимый расход лесосырьевых ресурсов без нарушения экологии и с учетом потребностей человека. Такая простая математическая модель ведения лесного хозяйства учитывает два переменных фактора: естественное воспроизводство леса и ежегодный объем заготовки. Реальные производственные модели использования лесосырьевых ресурсов включают значительно большее количество факторов, отличаются взаимодействием разных отраслей производства, ведомств, хозяйствующих субъектов. Отсутствие количественных закономерностей, которые следует предварительно определить, случайное воздействие множества неконтролируемых факторов значительно усложняют математическую модель. Кроме того, подготовка исходной информации также должна быть автоматизирована, ибо экономические показатели не остаются постоянными и требуется учет динамических характеристик,

а изменения в динамике влекут за собой дополнительные исследования. Информационная разобщенность затрудняет поиск исходных данных для наполнения модели. Часто критерии оценки эффективности различных предприятий противоречивы, найти компромиссное решение достаточно сложно.

Лесоперерабатывающая промышленность относится к материалоемким отраслям, в общей структуре ее себестоимости более половины затрат приходится на сырье. Поэтому особенно остро встает вопрос о наиболее рациональном его использовании.

Превращение лесопиления в сложную высокомеханизированную отрасль, рост потребностей народного хозяйства в продуктах переработки древесины, использование отходов лесопиления в смежных отраслях производства и дефицит лесосырьевых ресурсов обуславливают необходимость постановки и решения комплекса оптимизационных задач. Они заключаются в нахождении оптимального плана размещения производственной программы по предприятиям, который бы обеспечил максимальную экономическую эффективность производства при заданном объеме выпускаемой продукции. Повышение эффективности использования пиловочного сырья носит комплексный характер. Эта задача должна решаться на всех этапах заготовки и переработки древесины и достигаться за счет минимизации потерь на стадиях поставки сырья, формирования сечений и глубокой деревообработки.

На крупных лесопромышленных предприятиях одновременно с производством пиломатериалов из отходов лесопиления вырабатывается значительное количество технологической щепы для целлюлозно-бумажного производства (ЦБП). Проблема особенно актуальна для регионов со значительными объемами лесозаготовок, деревообработки и химической переработки древесины. Оптимальное использование производственных мощностей лесопиления предполагает учет технологических связей лесозаготовительного, лесопильного и целлюлозно-бумажного производств. Повышение уровня использования пиловочного сырья имеет первоочередное значение при построении оптимизационной модели, обеспечивающей повышение выхода высокосортных пиломатериалов и технологической щепы из отходов лесопиления для ЦБП, сокращение совокупных затрат на производство и транспорт на существующих производственных площадях без привлечения дополнительных капиталовложений с учетом наличия сырьевых ресурсов.

Математическая модель включает ограничения по объемам:

заготовки и переработки пиловочного сырья;

производства экспортных пиломатериалов и обрезных пиломатериалов внутреннего рынка;

использования существующих производственных мощностей;

технологической щепы для ЦБП из отходов лесопиления;

поставки пиловочного сырья и продуктов его переработки в области и за ее пределы;

загрузки основного вида транспорта (железнодорожного) при перевозке лесных грузов.

Особое значение приобретает выбор цели оптимизации. В качестве критерия оптимальности могут быть приняты различные экономические

показатели. Можно говорить об определении наилучшей производственной программы предприятия, снижении затрат на производство, снижении транспортных расходов, увеличении рентабельности работы предприятия и др. Любое предприятие заинтересовано в получении максимальной прибыли. Это справедливо, но не совсем верно. Основной задачей должно быть обеспечение различных отраслей народного хозяйства качественными продуктами переработки древесины, повышение выхода конкурентно способной дорогостоящей экспортной пиломатериали при условии снабжения деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных предприятий лесосырьевыми ресурсами. Улучшение качества выпускаемой продукции требует дополнительных трудозатрат и приводит к повышению ее себестоимости, что нежелательно, так как увеличивает общие затраты на производство. В конкурентных условиях именно снижение затрат позволит предприятиям получить дополнительную прибыль. Изменение критерия неизбежно приведет к изменению результатов. Одновременное достижение противоречивых целей невозможно, но получение компромиссного решения достижимо. В связи с этим можно говорить о решении задачи по следующим критериям:

достижение максимального значения выпуска высококачественной пиломатериали;

снижение общих затрат;

получение максимальной прибыли.

Каждое предприятие лесопромышленного комплекса имеет свой локальный критерий качества работы, к достижению которого оно стремится. Оптимальное функционирование предприятия по одному из критериев не является оптимальным по другим. Кроме того, локальные критерии не всегда соответствуют общему глобальному критерию комплекса. Модельный подход открывает пути для эффективного исследования направлений рационального использования лесосырьевых ресурсов и формирования взаимосвязанных критериев. При этом необходимо обеспечить соответствие между различными критериями, взаимосвязанными отраслями производства и получением оптимально возможного совокупного эффекта.

В соответствии с принятой иерархией критериев первоначально решается задача максимального удовлетворения потребителей в основных видах продукции лесопильно-деревообрабатывающего предприятия (ЛДП) с учетом ее качественных характеристик и заданных ограничений. Выпуск продукции

$$F1 = \sum_{v,j} \alpha_v y_{vj} + \sum_{v,\mu} \alpha_v y_{v\mu} + \sum_{v,k} \beta_v z_{vk} \rightarrow \max,$$

где α_v, β_v – коэффициенты сортности пиломатериали и технологической щепы на v -м ЛДП;

y_{vj} – объем поставки пиломатериали v -м ЛДП j -му потребителю внутри области, тыс. м³;

$y_{v\mu}$ – объем поставки пиломатериали v -м ЛДП μ -му потребителю за пределы области, тыс. м³;

z_{vk} – объем поставки технологической щепы от v -го ЛДП k -му целлюлозно-бумажному предприятию.

Теоретически найденное решение труднодостижимо ввиду различных (часто случайных) внешних и внутренних неучтенных воздействий, поэтому допускается некоторое отклонение $\Delta F1$ в сторону уменьшения максимального значения выпуска. Как отмечено ранее, наряду с увеличением объемов производства следует сократить совокупные затраты как на производство, так и на перемещение грузов, ибо доля транспорта в общем объеме производственных фондов составляет около 20 %. Снижение транспортных расходов весьма актуально. Поэтому в окрестности оптимального значения выпуска

$$F1^{\max} - \Delta F1 \leq F1 \leq F1^{\max}$$

осуществляется решение по критерию минимума затрат на заготовку, переработку и транспортировку древесины

Затраты на выпуск продукции

$$F2 = \sum_{i,v} (c_i + c_{iv})x_{iv} + \sum_{i,m} (c_i + c_{im})x_{im} + \sum_{v,j} (c_v + c_{vj})y_{vj} + \sum_{v,\mu} (c_v + c_{v\mu})y_{v\mu} + \sum_{v,k} (c_v + c_{vk})z_{vk} \rightarrow \min,$$

где

c_i – затраты на заготовку пиловочного сырья в i -м пункте, р./м³;

$c_{iv}, c_{im}, c_{vj}, c_{v\mu}, c_{vk}$ – соответствующие затраты на транспортировку сырья и продуктов его переработки от поставщика до потребителя, р./м³;

x_{iv} – объем поставки пиловочного сырья от i -го лесозаготовительного v -му лесопильному предприятию, тыс. м³;

x_{im} – объемов поставки пиловочного сырья от i -го лесозаготовительного предприятия за пределы области по m -му пункту вывоза.

Допустим некоторое отклонение $\Delta F2$ от найденного $F2^{\min}$ и введем его в качестве дополнительного ограничения:

$$F2^{\min} \leq F2 \leq F1^{\min} + \Delta F2.$$

Окончательное решение следует выполнить по критерию максимума прибыли с учетом принятой уступки по выпуску и затратам. Прибыль

$$F3 = \sum_v (q_v - t_v)\lambda_v(s_v - c_v) + \sum_v (q_v - t_v)r_v(s'_v - c'_v) \rightarrow \max,$$

где q_v – мощность по переработке пиловочного сырья на v -м ЛДП, тыс. м³;

t_v – «резерв» мощности, тыс. м³;

λ_v, r_v – коэффициенты выхода пиломатериалов и щепы соответственно;

s_v, s'_v – цена пиломатериалов и технологической щепы соответственно, р./м³.

Уровень уступки варьировался от 5,0 до 0,5 % с шагом 0,5 %. Наилучшие показатели получены при уровне 1,0 %. Расчеты показали, что увеличение ее нежелательно ввиду значительного сокращения объемов производства и его удорожания, существенное же снижение практически приводит в точку локального оптимума одного из критериев и не соответствует оптимальным значениям прочих критериев. Построение компромиссного

решения методом уступок позволяет учесть накопленный производственный опыт, а также использовать человеко-машинную процедуру для проведения многовариантных расчетов в диалоговом режиме.

Оптимизационная модель использования производственных мощностей лесопиления на примере Архангельского ЛПК содержит около 3,5 тыс. переменных и более 200 ограничений. Основные мощности по выпуску экспортной пилопродукции и целлюлозы сосредоточены в районе Архангельского промузла. Но часть лесоперерабатывающих предприятий, расположенных вдоль железной дороги и использующих качественное сырье, ориентирована на выпуск пиломатериалов для внутреннего рынка, что приводит к недовыпуску более ценной экспортной продукции и недозагрузке пиловочным сырьем технически лучше оснащенных предприятий. Кроме того, при переработке пиловочника на маломощных предприятиях теряются отходы лесопиления, которые можно направить на производство целлюлозы. Переработка пиловочного сырья на маломощных предприятиях с низким уровнем технологии и большой долей необрезных пиломатериалов, недостаточная обеспеченность сырьем специализированных предприятий приводит к значительным потерям качественных пиломатериал, а также вторичного сырья из отходов лесопиления для ЦБП. В результате снижается общий выход ценной продукции на лесопильных предприятиях региона (пиломатериалы, технологическая щепка для ЦБП).

Для обеспечения оптимальной загрузки существующих производственных мощностей лесопиления и ЦБП модель учитывает связь с лесозаготовительным производством, транспортировку сырья и продуктов его переработки. Выполнены многовариантные расчеты с применением диалоговой системы многокритериальной оптимизации.

Расчеты показывают, что в результате решения поставленной задачи возможно перераспределение производственной программы внутри ЛПК:

- определены предприятия, структура технологического процесса которых обеспечивает наиболее целесообразную переработку пиловочного сырья с учетом выпуска наиболее ценных качественных пиломатериалов и технологической щепки из отходов лесопиления для ЦБП;

- исключены из общей схемы лесоснабжения предприятия, которые характеризуются низким коэффициентом сортности пиломатериалов, выпуском необрезных пиломатериалов, малым выходом технологической щепки, низкой остаточной стоимостью основных производственных фондов;

- обеспечено снижение суммарных затрат на заготовку, распиловку и транспортировку сырья и продуктов его переработки;

- найден рациональная схема лесоснабжения;

- получено увеличение прибыли от реализации более качественной пилопродукции (выпуск пиломатериалов и технологической щепки) за счет сокращения потерь древесины при переработке на маломощных предприятиях и снижения выпуска низкосортных пиломатериалов.

Исследования в области организации работы ЛПК, проведенные посредством математического моделирования и поиска оптимальных решений, дают количественные оценки улучшения работы лесопромышленного комплекса на имеющихся производственных площадях без привлечения дополнительных капитальных вложений. Полученные расчеты показывают, что возможно улучшение лесоснабжения крупных хорошо технически оснащенных лесопильно-деревообрабатывающих предприятий имеющимися сырьевыми ресурсами. Это обстоятельство обеспечивает повышение выхода экспортной пилопродукции на 4,7 %, технологической щепы на 2,7 %, общей степени использования хвойного пиловочного сырья (пиломатериалы, технологическая щепа) по ЛПК на 1,4 % по сравнению с фактическим вариантом.

В окончательном решении по критерию максимума прибыли получен оптимальный план загрузки производственных мощностей по лесопилению и выпуску дорогостоящей экспортной пилопродукции, пиломатериалов внутреннего рынка и технологической щепы для ЦБП. При этом получено сокращение выпуска низкокачественных необрезных пиломатериалов на малорентабельных предприятиях с низким уровнем переработки древесины. На этих предприятиях переработка качественного пиловочного сырья нецелесообразна. Общее число агрегированных пунктов переработки пиловочного сырья сокращается с 31 до 19, что приводит к улучшению схемы грузопотоков. Одновременно стоимость выпускаемой продукции увеличивается на 5,9 %, прибыль – на 7,8 %. Учет транспортного фактора также обеспечивает значительную экономию средств: затраты на перевозку пиловочника по оптимальному плану снижаются на 14,2 %, напряженность грузопотоков сокращается почти в 3 раза. Оптимизация плана перевозок пиловочного сырья позволяет сократить грузооборот, а следовательно, и потребность в железнодорожном подвижном составе на 5,7 %, что в пересчете на двухосные вагоны приводит к высвобождению около 4000 вагонов. Экономическая эффективность оптимальной переработки пиловочного сырья для ЛПК составляет 0,46 р. на 1 м³ переработанной древесины.

Применение производственно-транспортной модели для решения текущих задач функционирования и развития производства позволяет учесть наличие производственных мощностей и наиболее рациональным образом осуществить распределение заказов и программ между предприятиями с учетом транспортных и эксплуатационных расходов.

При сложных многофакторных зависимостях между исходными данными и желаемым результатом невозможно оценить эффективность каждого из них простым перебором возможных вариантов развития. Современные информационные технологии вооружают организаторов производства инструментами поиска наилучших управляющих воздействий для достижения максимального эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маликов Р.Ф. Основы систем компьютерного моделирования: учеб. пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008.

2. *Пижурин А.А.* Оптимизация технологических процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 312 с.

3. *Самарский А.А., Михайлов А.П.* Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2002. 320 с.

Поступила 11.03.2010

M.S. Tarasova

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

Multicriteria Optimization of the Forest Sector Effectiveness Increase

The system of science-based criteria for the forest sector effectiveness evaluation on the industrial region level is proposed.

Keywords: process technology, resources of forest raw materials, computer modeling, mathematical model, multicriteria optimization.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.053

В.Г. Новоселов, И.Т. Рогожникова

Уральский государственный лесотехнический университет

Новоселов Владимир Геннадьевич родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, проректор по экономике и работе с персоналом Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 научных и учебно-методических трудов в области динамики и надежности деревообрабатывающих машин.

E-mail: prec-ec@usfeu.ru



Рогожникова Ирина Тихоновна родилась в 1963 г., окончила в 1986 г. Уральский политехнический институт, доцент кафедры начертательной геометрии и машиностроительного черчения Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ, в том числе в области надежности машин и оборудования.

E-mail: nauka-les@yandex.ru



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Исследовано изменение параметров шероховатости обработанной поверхности древесины в зависимости от износостойкости материала лезвия фрезы и продолжительности эксплуатации инструмента.

Ключевые слова: технологическая система деревообработки, шероховатость поверхности, древесина, профилометр, износостойкость, надежность.

Технологическая система продольного фрезерования древесины в соответствии с ГОСТ 27.004–85 [4] включает в себя функционально взаимосвязанные четырехсторонний продольно-фрезерный станок, черновую деревянную заготовку и исполнителя – станочника по деревообработке, выполняющего в регламентированных условиях производства заданную технологическую операцию. По ГОСТ 27.202–83 [3] качество изготавливаемой продукции является одним из критериев оценки надежности технологической системы. В свою очередь, одним из основных показателей качества продукции деревообработки служит шероховатость обработанной поверхности, оказывающая непосредственное влияние на многие технологические и эксплуатационные свойства деталей в целом и являющаяся важным производственным фактором, от которого зависит расход материалов и технико-

экономическая эффективность многих технологических операций (склеивание, шлифование, покрытие лаком и др.). Нельзя забывать и об эстетических свойствах древесины – отражающей и поглощающей способности, на которую непосредственно оказывает влияние шероховатость поверхности.

Физическая модель, описывающая потерю качества по показателю «шероховатость поверхности» в деревообработке по мере износа инструмента и закономерности возникновения соответствующих отказов, приведена в работе [5].

Теоретическое исследование предложенной модели методом численного эксперимента, выполненное нами ранее [6], позволило выдвинуть гипотезу о том, что наибольшее влияние на наработку до отказа оказывает изменение следующих факторов: шероховатость в начальный период обработки; интенсивность изнашивания инструмента; припуск на обработку.

Для проверки выдвинутых гипотез на базе предприятия ООО «НИК» в г. Сысерть были проведены исследования по определению изменения шероховатости поверхности в процессе обработки деревянных деталей. Для этого использовали 4-сторонний продольно-фрезерный станок «Martin» (скорость подачи 12 м/мин, частота вращения ножевых головок 6000 мин⁻¹). Обработывали сосновые пиломатериалы шириной 157 мм, толщиной 55 мм, длиной 3000 мм, влажностью 12 %. Верхнюю, правую и левую плоскости обрабатывали фрезой, оснащенной четырьмя сменными неперетачиваемыми ножами фирмы «Leuko» каждая, нижнюю – двумя стальными ножами марки 8Х6НФТ. К началу исследований ножи на фрезах имели приработку, лезвие фрез было относительно затуплено. Во время исследований станок не поднастраивали. Регламентируемые условия производства – постоянная влажность и температура окружающей среды в столярном цехе.

Исследования проводили по методике [8]. Оценку и измерение шероховатости поверхности древесины производили метрологическим методом (ГОСТ 15612–78 [2]) с помощью профилометра ПМД-100 [7], который выпускает по индивидуальному заказу предприятие ООО «Микроавтоматика» (г. Пенза). Через определенные промежутки времени работы станка после фрезерования отбирали по 3 доски, у каждой из этих досок измеряли шероховатость поверхности на трех участках длиной не более 200 мм (начало, середина и конец доски) во всех четырех плоскостях (рис. 1).



Рис. 1. Расположение обрабатываемых плоскостей (1 – 4) пиломатериала: 1 – верхняя, 2 – левая, 3 – нижняя, 4 – правая

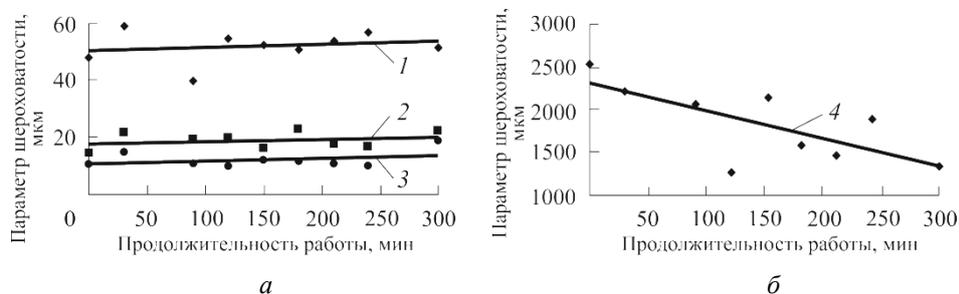


Рис. 2. Зависимость параметров шероховатости (а, б) обработанной поверхности от продолжительности работы: 1 – R_{\max} , 2 – R_z , 3 – R_a , 4 – S_z

Кроме того, фиксировали наличие ворсистой, мшистой, сколов, вырывов. В каждом измерении на базовой длине 8 мм четырех обрабатываемых плоскостей определяли следующие показатели шероховатости: среднее арифметическое абсолютных отклонений профиля R_a , высота неровностей профиля по десяти точкам R_z , среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей профиля R_{\max} , средний шаг неровностей профиля по впадинам S_z .

Данные измерений статистически обрабатывали: для каждой j -й выборки определяли среднее значение каждого из параметров шероховатости обработанной поверхности и среднее квадратическое отклонение значений в выборке. Типичные графики изменения параметров шероховатости в процессе обработки приведены на рис. 2.

Зависимости изменения параметров шероховатости R_a , R_z , R_{\max} поверхностей, обрабатывавшихся твердосплавными ножами, от продолжительности работы могут быть аппроксимированы линейными уравнениями вида

$$y = kt + y_0, \quad (1)$$

где y – параметр шероховатости;

k – коэффициент пропорциональности;

t – продолжительность работы;

y_0 – начальное значение параметра шероховатости.

Значения параметров k и t из формулы (1) приведены в табл. 1, из данных которой видно, что при одинаковом порядке начальных значений параметров шероховатости – высот неровностей, интенсивность их изменения (k) существенно отлична на разных плоскостях обработки.

Средний шаг неровностей профиля по впадинам (S_z) в начале обработки (y_0) близок к значению подачи на один оборот ножевой головки, что соответствует утверждению [1] о том, что вследствие неточности установки кинематическую волну неровности образует одно лезвие.

С течением времени из-за износа лезвий радиусы поверхностей резания уравниваются, максимальные неровности уменьшаются, средний шаг неровностей профиля по впадинам сокращается. Косвенно это подтверждается тем, что на верхней плоскости начальный шаг неровностей в начале обработки оказался меньше, чем на других, вероятно, из-за более точной установки ножей, но в процессе работы он изменялся менее интенсивно (примерно в 4–6 раз).

Таблица 1

Параметр y	Плоскость	Коэффициент пропорциональности	Начальное значение параметра y_0 , мкм
R_a	1	0,0033	6,03
	2	0,0170	6,22
	4	0,0100	10,38
R_z	1	0,0045	11,52
	2	0,0135	11,21
	4	0,0092	17,22
R_{max}	1	0,0315	35,20
	2	0,0650	34,37
	4	0,0116	50,05
S_z	1	-0,5567	1688
	2	-2,3643	2279
	3	-3,3083	2316
	4	-2,5875	2284

Однако определение параметров R_{max} в зависимости от S_z путем геометрических построений как высоты кругового сегмента с радиусом, равным радиусу поверхности резания [1], дает заниженные примерно в 5 раз значения. Это, вероятно, можно объяснить тем, что реальная поверхность резания образуется всеми лезвиями и представляет собой ступенчатую ломаную. Разность высот наивысшей и наименьшей ступеньки равна разности радиального вылета лезвий. Полученные в опыте значения $R_{\text{max}} = 30,43 \dots 50,05$ мкм находятся в рекомендуемом допуске. Характер изменения параметров шероховатости R_a , R_z , R_{max} на нижней плоскости отличается от других не только количественно, но и качественно (рис. 3).

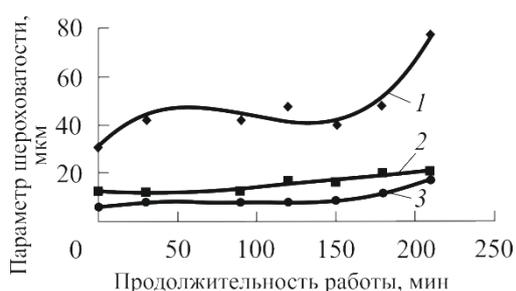


Рис. 3. Зависимость параметров шероховатости (1 – 3) нижней плоскости от продолжительности работы (см. обозначения на рис. 2)

Таблица 2

Параметр шероховатости	y_0 , мкм	y_1	y_2	y_3
R_a	5,89	0,1013	-0,0014	$6 \cdot 10^{-6}$
R_z	11,91	-0,0350	0,0007	$-2 \cdot 10^{-6}$
R_{max}	30,43	0,6933	-0,0087	$3 \cdot 10^{-5}$

Эти зависимости с достоверностью 0,95...0,99 аппроксимируются полиномами третьей степени:

$$y = y_0 + y_1t + y_2t^2 + y_3t^3,$$

где y – параметр шероховатости;

y_0 – начальное значение параметра шероховатости;

y_{1-3} – коэффициенты пропорциональности;

t – продолжительность работы.

Начальные значения параметров шероховатости и коэффициенты пропорциональности приведены в табл. 2.

Характер изменения параметров шероховатости поверхности нижней обработанной плоскости, безусловно свидетельствует (рис. 3) об аварийном износе лезвий стальных ножей, наступившем после 180 мин работы, в то время как твердосплавные ножи не приводили к резкому увеличению шероховатости.

Выводы

1. Параметры шероховатости поверхности увеличиваются с течением времени работы инструмента.

2. Износостойкость материала лезвия ножа фрезы оказывает влияние на параметры шероховатости и характер их изменений.

3. Среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей профиля R_{max} и средний шаг неровностей профиля по впадинам S_z формируются одним лезвием, имеющим наибольший радиус резания, однако геометрическая зависимость между ними не подтверждается. Вероятно, поверхность резания представляет собой сложную ступенчатую криволинейную поверхность, образованную всеми лезвиями.

4. Шероховатость поверхности можно рассматривать как параметр качества, определяющий надежность технологической системы деревообработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов И.Т., Новоселов В.Г., Швам Л.Г. Справочник по резанию древесины. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 1999. 190 с.

2. ГОСТ 15612–78. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости поверхности. М.: Изд-во стандартов, 1997. 13 с.

3. ГОСТ 27.202–83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.

4. ГОСТ 27.004–85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2002. 18 с.

5. Новоселов В.Г. Расчет безотказности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» // Изв. СПбГЛТА. СПб, 2006. Вып. 3. С. 178–184.

6. Новоселов В.Г., Рогожникова И.Т. Теоретическое исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности» // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы Международного евразийского симпозиума*, Екатеринбург, 20-21 сен. 2006 г. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2006. С. 117–122.

7. Профилометр «ПМД2-100». Руководство по эксплуатации. МА5464-4007РЭ. Пенза: ООО «Микроавтоматика», 2007. 12 с.

8. Рогожникова И.Т., Новоселов В.Г. Критерии, методы и средства определения надежности технологических систем деревообработки по показателю качества «шероховатость поверхности» // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы II Международного евразийского симпозиума*, Екатеринбург, 2–5 октября 2007 г. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2007. С. 94–99.

Поступила 26.03.10

V.G. Novoselov, I.T. Rogoshnikova
Ural State Forestry Engineering University

Experimental Investigation of Wood Surface Roughness Variation During Milling

Variation of processed wood parameters depending on wear resistance of the cutter material and operational use time is examined.

Keywords: woodworking technological system, surface roughness, profilometer, wear resistance, reliability.

УДК 674. 06

Л.С. Суровцева, А.В. Старкова

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

Суровцева Любовь Савватьевна родилась в 1944 г., окончила в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Архангельского государственного технического университета. Имеет более 110 научных трудов в области комплексного, рационального использования древесины, совершенствования технологического процесса лесопильно-деревообрабатывающих производств.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



Старкова Анна Владимировна родилась в 1975 г., окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 10 научных трудов.
Тел.: 8(8182) 21-61-66



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНЫХ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ

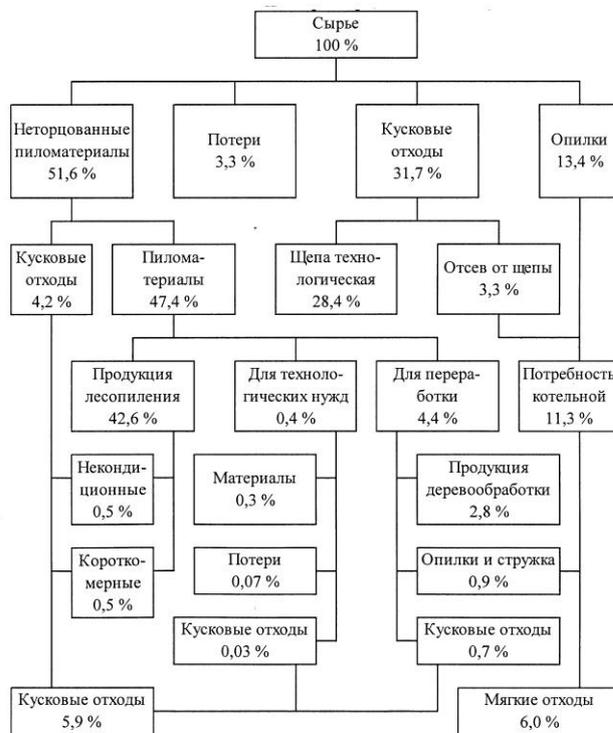
Изучены основные факторы, влияющие на эффективность производства древесных гранул (фракционный состав, влажность вторичного сырья). Установлено, что производство древесных гранул будет эффективно при переработке всего имеющегося вторичного сырья лесопильного производства.

Ключевые слова: древесные топливные гранулы, вторичное сырье, кусковые отходы, технологическая щепка.

Отходы, получаемые на лесоперерабатывающих предприятиях, используются в качестве вторичного сырья для получения энергии и технологической щепы, а небольшая их часть (около 0,5 %) реализуется потребителям. Анализ баланса использования пиловочного сырья на ряде лесопильных предприятий г. Архангельска представлен на рисунке.

На объем вторичного сырья оказывают влияние множество факторов, которые можно объединить в следующие основные группы:

- размерно-качественная характеристика сырья и порода;
- назначение и размерно-качественная характеристика основной пилопродукции;
- соответствие размерно-качественной характеристики распиливаемого сырья и требуемой пилопродукции;
- применяемые поставы и планирование раскроя пиловочного сырья;
- техническое состояние и наладка станков, подготовка и установка инструмента;
- организационно-экологические.



Структура баланса пиловочного сырья

Объем вторичного сырья, который может быть использован для других видов производств составляет в среднем 40,5 %, в том числе 28,4 % приходится на технологическую щепу для ЦБП.

В период стабильного спроса на отходы древесины от лесопильного производства предприятие практически не имеет проблем с их реализацией. В периоды падения спроса предприятие вынуждено искать возможности утилизации отходов древесины (вывозить на свалку, бесплатно поставлять любому желающему и т.д.). Прогнозировать рост или падение спроса на отходы древесины очень сложно. Это представляет для предприятия серьезный риск и необоснованные дополнительные затраты.

Известно, что крупные потребители вторичного древесного сырья – целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК), имеют собственные и достаточно крупные цеха по производству технологической щепы, и нет гарантий, что в один момент они не откажутся от предлагаемых в настоящее время объемов технологической щепы из древесных отходов лесопильного производства или при отсутствии потребности не снизят цену до уровня, неприемлемого для предприятия-поставщика.

Целью исследований является установление эффективности производства древесных гранул из вторичного сырья лесопильного производства.

Таблица 1

Сравнительная характеристика используемых видов топлива

Топливо	Средняя теплота сгорания, ккал/кг	Содержание			Средний КПД сго- рания топ- лива и тепловой установки	Средняя цена единицы объема топлива, р.	Стоимость выработки тепла, р./Гкал
		серы	золы	углекис- лого газа			
		%		кг/ГДж			
Свежесрубленная древесина	1 890	0,0	2,0	0,0	50	1,80	1 905
Древесные гранулы	4 253	0,0	0,6	0,0	85	3,47	959
Уголь каменный	4 270	0,8	23,6	60,0	50	2,00	937
Мазут топочный	9 590	3,5	0,1	78,0	70	11,00	1 639
Дизельное топливо	10 150	0,3	0,0	78,0	80	24,00	2 956
Природный газ ($\rho=0,7$ кг/м ³)	8 400	0,0	0,0	57,0	85	5,74	803

Необходимо изучить различные варианты использования отходов, образующихся в процессе основного производства, и выбрать тот, который позволяет предприятию утилизировать, перерабатывать или реализовывать всю номенклатуру отходов, получая при этом максимально возможную прибыль. При этом ликвидируется зависимость лесоперерабатывающих предприятий от ЦБК – основных покупателей технологической щепы, традиционно производимой из вторичного сырья.

В настоящее время одним из основных направлений использования вторичного сырья для получения экологически чистой энергии является его гранулирование.

Вопросы использования дешевой экологически чистой энергии поднимаются в последнее время все чаще. Развитию нетрадиционной энергетики, в частности биоэнергетики, способствуют постоянный рост цен на углеводородное сырье, исчерпаемость запасов угля, нефти и газа, а также ратификация Киотского протокола, целью которого является снижение вредных выбросов в атмосферу (табл. 1).

Древесные гранулы являются более эффективным видом топлива для производства энергии по сравнению с древесиной и другими видами, за исключением угля и газа. Однако выравнивание внутренних цен на газ с общемировыми поставит на одну ступень с газом и углем использование древесных гранул для производства энергии. Кроме того, не каждый желающий имеет возможность подключиться к системе газоснабжения.

Европейский Союз (ЕС) ежегодно использует порядка 3 млн т древесных гранул в год. Котельные на биотопливе в Европе пользуются большой популярностью. В среднем потребление гранул растет в ЕС на 15 % ежегодно [1, 2].

Производство древесных гранул в России также постепенно развивается. По оценке экспертов в целом по России установлены мощности по выпуску

не менее 300 тыс. т гранул в год. Из действующих российских производителей древесных гранул можно выделить компании: «Гринлат» (г. Ростов-на-Дону), «Реал» (Владимирская область), «Росполитехлес» (г. Усть-Ижора, Ленинградской области), «Салотти» (г. Ломоносов, Ленинградской области), «Лесозавод № 25» (г. Архангельск) и др. Однако необходимо отметить, что без формирования внутреннего рынка осуществить действительно массовое производство биотоплива в России практически невозможно.

Применение топливных древесных гранул в России в настоящее время ограничено необходимостью вложения в переоборудование котельных и отопительного оборудования в частных домах, нестабильностью предложения поставок гранул на внутреннем рынке. Поэтому полноценный рынок сбыта у нас пока несовершенен.

Основные факторы, которые влияют на эффективность производства гранул: объемы перерабатываемого сырья; исходная влажность и фракционный состав вторичного сырья.

Нами было рассмотрено два варианта организации производства для получения гранул из отходов лесопильно-деревообрабатывающих предприятий с различным объемом переработки вторичного сырья.

По первому варианту (без технологической щепы) объем производства древесных топливных гранул составил 13 444 т/год, по второму (переработка всех отходов лесопильного производства) – 37 000 т/год.

Известно, что затраты на сушку исходного сырья от начальной до влажности 10 % составляют большую часть в себестоимости производства гранул.

Нами были проведены исследования по определению средневзвешенной влажности исходного сырья для производства гранул по двум вариантам (табл. 2).

Влажность древесного вторичного сырья по второму варианту в 1,5 раза выше по сравнению с первым. При сушке такой древесины масса влаги, которую потребуется испарить, по первому варианту составит 207,9 кг, по второму – 403,5 кг.

Таблица 2

Исследование влажности вторичного сырья

Показатель	Значение показателя для вторичного сырья					
	Пиломатериалы		Кусковые отходы	Опилки и отсев от щепы	Стружка	Технологическая щепка
	некондиционные	короткомерные				
Объем сырья, %	3,9	3,9	41,0	44,0	7,2	–
	1,1	1,1	12,2	13,1	2,2	70,3
Начальная влажность, %	20,0	20,0	20,0	77,6	20,0	78,7
Средневзвешенная влажность, %	45,4/68,8					

Исследования показали, что щепа, получаемая из кусковых отходов лесопильного производства, состоит из крупной фракции (2,0 %), технологической щепы (90,7 %), отсева от щепы (7,3 %). Следовательно, при ее использовании в производстве гранул по второму варианту требуется доизмельчать 92,7 % щепы, а по первому – только 2,0 %.

Одним из основных показателей эффективной деятельности предприятия, производящего древесные гранулы, является сумма прибыли. По первому варианту она составит 7 150 тыс. р., по второму – 35 311 тыс. р. Критическая программа выпуска продукции (точка безубыточности) по первому варианту – 10 947 т, по второму – 14 226 т.

При условии выполнения плана производства и реализации намеченного объема продукции проектируемый участок будет обладать следующим запасом финансовой прочности: по первому варианту – 9 239 тыс. р., по второму – 84 264 тыс. р.

Анализ показателей экономической эффективности инвестиций показал, что при сроке окупаемости более 14 лет организация производства по первому варианту вряд ли будет являться привлекательной для инвестора. Срок окупаемости инвестиций при организации производства по второму варианту составляет около 4,5 лет. Второй вариант проекта при переработке всех кусковых отходов на гранулы можно считать эффективным. Чистый приведенный доход на конец пятилетнего периода положительный, внутренняя норма прибыли – 20 % в год, что превышает принятую норму дисконта (10 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маркетинговое исследование рынка топливных гранул (пеллет). М.: Консалтинговая компания «ICUBUS», 2008. 185 с.
2. *Ракитова О.С., Овсянко А.Д., Александров С.Е.* Справочник древесных топливных гранул в России и СНГ. СПб, 2005. 124 с.

Поступила 10.02.2010 г.

L.S. Surovtseva, A.V. Starkova

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

Wood Pellets Production Effectiveness

Basic factors of wood pellets production effectiveness (dimensional breakdown, moisture content) of secondary material – have been examined. The results indicate that wood pellets production profitability is highly dependent on the volume of the secondary raw material processing.

Keywords: wood pellets, secondary raw material, wood lump residues, wood chips.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Материалы Международной конференции «Физикохимия растительных полимеров»

УДК 54-145.82:665.947.4

А.В. Ладесов, Д.С. Косяков, К.Г. Боголицын

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

Ладесов Антон Владимирович родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 5 печатных работ в области химии смешанных растворителей.
E-mail: lokoal@mail.ru



Косяков Дмитрий Сергеевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии. Имеет около 100 печатных работ в области физической химии растительных полимеров и химии растворов.
E-mail: kosyakov@mail.ru



Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, проректор по научной работе, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии САФУ имени М.В. Ломоносова, директор ИЭПС УрО РАН, заслуженный работник науки РФ. Имеет более 500 печатных работ в области физической химии растительного сырья.
E-mail: bogolitsyn@iepn.ru



МЕТИЛСУЛЬФАТ 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ – НОВЫЙ РАСТВОРИТЕЛЬ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Изучена возможность растворения древесины и ее компонентов в ионной жидкости метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия ([bmim]MeSO₄). Показана большая растворяющая способность ионной жидкости по отношению к лигнину. Определены сольватохромные параметры полярности [bmim]MeSO₄ по Камлету–Тафту.

Ключевые слова: ионная жидкость, лигнин, целлюлоза, параметры полярности.

* Работа выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК от 29.04.2011 г. № 16.552.11.7023) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-03-98808-р_север_а).

©Ладесов А.В., Косяков Д.С., Боголицын К.Г., 2011

Ионные жидкости – жидкие при обычных условиях соединения, состоящие только из ионов. Как правило, они нелетучи, негорючи, имеют высокую термическую и химическую стабильность, проводят электрический ток и мало токсичны [6].

Ионные жидкости на основе солей имидазолия находят все более широкое применение в хроматографии, электро- и фотохимии [3, 9]. Особенно перспективно их использование в химии растительного сырья, так как они являются единственными растворителями древесины и ее компонентов. Благодаря своим свойствам (например, низкому давлению паров), ионные жидкости считаются экологически чистыми растворителями [7, 9].

Изучение такого класса растворителей началось сравнительно недавно. Этим объясняется то, что свойства многих ионных жидкостей до сих пор изучены недостаточно. Имеется ряд работ, в которых исследована растворяющая способность ионных жидкостей по отношению к лигноцеллюлозным материалам. Так, в работе [4] показано, что ионная жидкость хлорид 1-бутил-3-метилимидазолия растворяет целлюлозу в количестве до 18 % (масс.).

В Северном (Арктическом) федеральном университете ранее были проведены работы по изучению растворимости лигнина в ацетате 1-бутил-3-метилимидазолия. Обнаружено, что данная ионная жидкость является хорошим растворителем лигнина [1]. Среди коммерчески доступных ионных жидкостей заслуживает внимания метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия, в значительной степени сходный по своим свойствам и стоимости с ацетатом 1-бутил-3-метилимидазолия и отличающийся от последнего принадлежностью к группе «кислых» ионных жидкостей. В связи с этим целесообразно изучить свойства данной ионной жидкости как перспективного растворителя лигноцеллюлозных материалов.

Экспериментальная часть

Использовалась ионная жидкость метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия (содержание основного вещества более 95 %, «Fluka»). Объектами исследования являлись диоксанлигнин ели (выделен по методу Пеппера; содержание метоксильных групп – 15,51 %, фенольных гидроксильных групп – 2,2 %, карбонильных групп – 4,11 %), сульфатная целлюлоза, хлопковая целлюлоза, опилки хвойных пород. Для определения параметров полярности применялись сольватохромные индикаторы 4-диметиламинобензофенон (98 %, «Sigma-Aldrich»), 4-нитроанизол (97 %, «Sigma-Aldrich»), 4-нитроанилин (puriss, «Fluka»).

Для изучения растворимости лигнина в ионной жидкости в пробирку Эппендорфа помещали 0,06 г лигнина и заливали метилсульфатом 1-бутил-3-метилимидазолия в количестве 0,7 г. Растворение проводили при комнатной температуре. Через 24 ч визуально определяли растворимость лигнина. При отсутствии видимых частиц растворенного вещества в раствор добавляли новую порцию природного полимера. Эксперимент проводили до того момента, когда после 24 ч в растворе оставались частицы лигнина.

Для изучения воздействия ионной жидкости в пробирки вносили и другие лигноцеллюлозные материалы с различным размером частиц: сульфатную целлюлозу, хлопковую целлюлозу, опилки хвойных пород. Соотношение массы растворяемого вещества и ионной жидкости не превышало 0,07. Растворы термостатировали при температуре 85 °С в течение 5 дн. Записывали ИК-спектры нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) полученных растворов с использованием ИК-Фурье-спектрометра Vertex 70 («Bruker», Германия) и НПВО с алмазным кристаллом MIRacle A («Pike Technologies», США). Условия записи спектров: диапазон 4000...600 см⁻¹, разрешение 4 см⁻¹, 32 сканирования. Данный эксперимент повторяли, добавляя 10 % муравьиной, уксусной и серной кислот.

Для определения параметров полярности ионной жидкости по Камлету–Тафту готовили растворы сольватохромных индикаторов в ионной жидкости такой концентрации, при которой максимум полосы поглощения красителя находился бы в интервале оптических плотностей от 0,2 до 2,0. Записывали электронные спектры поглощения на спектрофотометре UV-3600 («Shimadzu Corp.», Япония). Условия записи спектров: кварцевые кюветы толщиной 2 мм («Hellma», Германия), Пелтье-термостатирование при 25 °С, диапазон 280...480 нм, разрешение 5 нм, интервал записи 0,1 нм, скорость сканирования «very slow», 6 сканирований. Полученные спектры сглаживали и определяли положение полосы с точностью до 0,1 нм с помощью программного обеспечения UVProbe (ver. 2.33, «Shimadzu Corp.», Япония).

Обсуждение результатов

Проведенный эксперимент по растворимости диоксанлигнина показал, что при комнатной температуре удается достичь концентрации лигнина в ионной жидкости 15 % (масс.), при этом раствор остается гомогенным. Дальнейшее увеличение концентрации затруднено по причине сложности визуального определения частиц лигнина в растворе. Повторение эксперимента при повышенной температуре показало, что в течение 24 ч полностью растворяется 16 % (масс.) лигнина в ионной жидкости. Растворенный лигнин не подвергается существенным изменениям, о чем свидетельствует идентичность ИК-спектров растворенного лигнина и исходного диоксанлигнина.

Эксперимент по растворению целлюлозы показал, что существенно-го перехода целлюлозы в раствор не наблюдается ни при комнатной температуре, ни при 85 °С. При этом отмечено существенное набухание целлюлозного волокна. Однако ИК-спектроскопическое исследование ионной жидкости, находившейся в контакте с целлюлозой при 85 °С, показало присутствие в ней полисахаридной составляющей.

В эксперименте по обработке опилок метилсульфатом 1-бутил-3-метилимидазолия установлено, что набухание древесины аналогично целлюлозным материалам. При этом происходит изменение окраски ионной жидкости. Анализ ИК-спектров жидкой фазы свидетельствует о наличии в ней лигнина и, в некоторой степени, целлюлозы (рис. 1). Это подтверждает и наличие основных полос поглощения, характерных для лигнина при 2959,

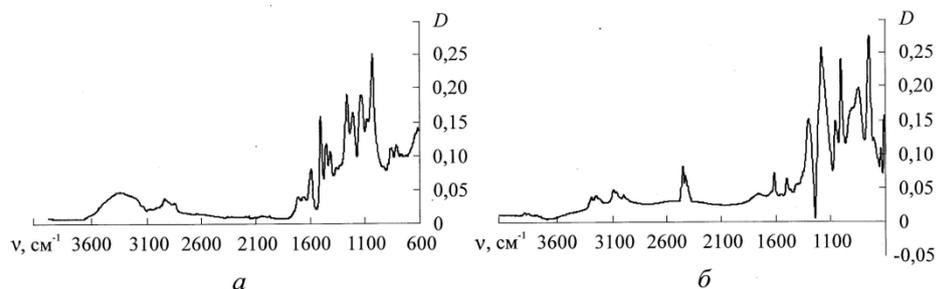


Рис. 1. Спектры лигнина: *a* – сухой диоксанлигнин; *б* – полосы лигнина и целлюлозы в растворе после обработки опилок метилсульфатом 1-бутил-3-метилимидазолия

1574, 1511, 1461, 1209, 1167, 1058, 750 cm^{-1} , отвечающих соответственно колебаниям С–Н-связей в метильных группах, бензольном кольце, С–Н-связей в метоксильных группах, С–С, С–О, С=О-связей, ароматических С–Н-связей, а также полосы 1005 cm^{-1} колебаний С–О-связи в углеводах [5].

Установлено, что повышение растворимости лигнинной составляющей древесины в ионной жидкости может быть достигнуто при использовании дополнительного гидролитического воздействия. С этой целью проводились эксперименты по действию ионной жидкости на древесные опилки в присутствии муравьиной, уксусной и серной кислот, взятых в количестве 10 % от объема ионной жидкости (в случае серной кислоты ее еще добавляли в количестве 1 %). Воздействие органических кислот не привело к существенному улучшению процесса растворения. Однако в присутствии серной кислоты наблюдалась существенная делигнификация древесины, раствор приобретал темно-бурую окраску за счет перехода лигнина в жидкую фазу. Растворенный лигнин высаждали из раствора, добавляя большое количество воды, и после центрифугирования и сушки исследовали методом ИК-спектроскопии (рис. 2). Сравнение полученного спектра со спектром диоксанлигнина демонстрирует определенное сходство, несмотря на различия в относительных интенсивностях полос.

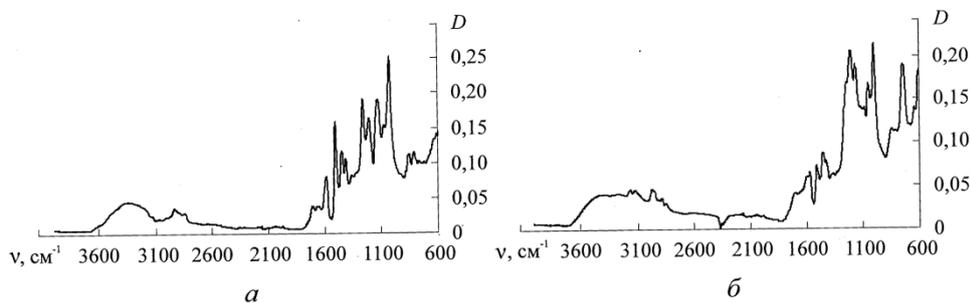


Рис. 2. Спектры диоксанлигнина (*a*) и выделенного из опилок с помощью ионной жидкости лигнина (*б*)

Таким образом, метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия является хорошим растворителем лигнина, по своей растворяющей способности не уступающим таким традиционным растворителям, как диметилсульфоксид (ДМСО), N,N-диметилформамид (ДМФА), 1,4-диоксан. Учитывая сравнительно слабую растворяющую способность по отношению к целлюлозе, метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия может рассматриваться как перспективный делигнифицирующий растворитель.

Для характеристики исследуемой ионной жидкости как растворителя определены сольватохромные параметры полярности по Камлету–Тафту (α , β , π^*), характеризующие соответственно электроноакцепторные, электронодонорные свойства среды и ее способность к неспецифическим взаимодействиям (полярность/поляризуемость) [8]. Данные параметры определяли УФ-спектрофотометрическим методом с использованием соответствующих сольватохромных индикаторов.

За основу было взято уравнение Камлета–Тафта [2]:

$$v = v_0 + s\pi^* + b\beta + a\alpha, \quad (1)$$

где v_0 – положение полосы в гипотетическом растворителе с нулевыми параметрами полярности;

s , a , b – коэффициенты, являющиеся мерой чувствительности растворенного вещества по отношению к параметрам растворителя, взяты для используемых индикаторов из литературных источников [7, 8]:

$$\pi^* = (v_0 - v_{\max})/s; \quad (2)$$

$$\beta = (v_0 - v_{\max} - s\pi^*)/b; \quad (3)$$

$$\alpha = b\beta/a. \quad (4)$$

Результаты эксперимента представлены в таблице.

Как видно из таблицы, метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия ([bmim]MeSO₄) является высокополярной жидкостью, для которой параметр π^* сравним со значением для воды (1,09). В то же время ионная жидкость

Параметры полярности метилсульфата 1-бутил-3-метилимидазолия в сравнении с ДМСО и водой

Растворитель	π^*	π^* (лит) [6, 9]	α	α (лит) [6, 9]	β	β (лит) [6, 9]
[bmim]MeSO ₄	1,05	1,046	0,27	0,545	0,71	0,672
ДМСО	–	1,00	–	0,00	–	0,76
Вода	–	1,09	–	1,17	–	0,47

относится к высокоосновным растворителям, параметр β которого сопоставим с ДМСО (0,76) и значительно превышает соответствующее значение для воды (0,47).

Высокая основность исследуемого растворителя связана с доступностью MeSO_4 -аниона, не имеющего сольватной оболочки и обладающего неподеленными электронными парами на атомах кислорода и серы. Именно высокая основность среды является важнейшим фактором, обеспечивающим хорошую растворимость лигнина за счет образования водородных связей с фенольными гидроксильными группами макромолекулы полимера.

Таким образом, метилсульфат 1-бутил-3-метилимидазолия можно рассматривать как аналог ДМСО, отличающийся от него заметной льюисовской кислотностью. Существенное значение параметра α ионной жидкости позволяет ей, в отличие от молекулярных апротонных растворителей, сольватировать также вещества, являющиеся донорами электронной пары (например, анионы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боголицын К.Г., Скребец Т.Э., Махова Т.А. Физико-химические свойства ацетата 1-бутил-3-метилимидазолия // Журн. общей химии. 2009. Т. 79, Вып. 1. С. 128–131.
2. Райхардт Х. Растворители и эффекты среды в органической химии / пер. с англ. М.: Мир, 1991. 763 с.
3. Решетов С.А., Фролкова А.К. Ионные жидкости как разделяющие агенты // Вестник МИТХТ. 2009. Т. 4, № 3. С. 27–44.
4. Cellulose dissolution with polar ionic liquids under mild conditions: required factors for anions / Y. Fukaya, K. Hayashi, M. Wada, H. Ohno // Green Chem. 2008. Vol. 10. P. 44–46.
5. Heitner C., Dimmel D., Schmidt A.J. Lignin and lignans: advances in chemistry // CRC Press. 2010. 629 p.
6. Marcus Y. The Properties of Solvents // John Wiley & Sons Ltd. 1998. 242 p.
7. Migron Y., Marcus Y. Polarity and hydrogen-bonding ability of some binary aqueous-organic mixtures // J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1991. Vol. 87(9). P. 1339–1343.
8. Reta M., Cattana R., Silber J. Kamlet–Taft's solvatochromic parameters for nonaqueous binary mixtures between *n*-hexane and 2-propanol, tetrahydrofuran and ethyl acetate // J. of Solut. Chem. 2001. Vol. 30. P. 237–252.
9. The effect of the ionic liquid anion in the pretreatment of pine wood / A. Brandt [et al.] // Green Chem. 2010. Vol. 12. P. 672–679.

Поступила 20.10.11

A.V. Ladesov, D.S. Kosyakov, K.G. Bogolitsyn

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

1-Butyl-3-methylimidazolium Methylsulfate – New Solvent of Lignocellulosic Materials

The processes of dissolving softwood and its main components in the ionic liquid 1-butyl-3-methylimidazolium methylsulfate are considered. Good dissolving ability of ionic liquid towards lignin is shown. Solvatochromic parameters of ionic liquid polarity according to Kamlet–Taft are defined.

Keywords: ionic liquid, lignin, cellulose, polarity parameters.

УДК 661.183: 676.082: 676.083/.085

А.И. Андреев¹, С.Б. Селянина², Н.И. Богданович¹

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Андреев Артем Идрисович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 8 печатных работ в области изучения сорбционных свойств сульфатного лигнина.
E-mail: artandasp@yandex.ru



Селянина Светлана Борисовна родилась в 1962 г., окончила в 1986 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 95 печатных работ в области изучения коллоидно-химических взаимодействий в гетерогенных системах экстрактивных смолистых веществ и лигнинов, сорбционных свойств лигнинов.
E-mail: smssb@yandex.ru



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 320 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.
E-mail: lesochim@agtu.ru



ХАРАКТЕРИСТИКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА

Рассмотрено влияние способа отделения твердого остатка от маточного раствора и рН осаждения на выход и сорбционную способность сульфатных лигнинов, выделенных из упаренного черного щелока Архангельского целлюлозно-бумажного комбината. Подтверждена возможность использования сульфатного лигнина в качестве эффективного сорбента.

Ключевые слова: сорбент, сульфатный лигнин, черный сульфатный щелок, сорбционная активность, центрифугирование, фильтрование.

Использование растительных биополимеров в качестве сорбентов в настоящее время представляется перспективным направлением химической технологии. Одним из таких биополимеров является лигнин. Однако его применение ограничивается использованием только гидролизного лигнина, например, в производстве таких широко известных препаратов, как полифепан, Фильтрум-СТИ и др. [6]. Альтернативным источником технического лигнина для изготовления сорбентов (в частности, энтеросорбентов) может служить широко распространенное как в России, так и в мире сульфат-целлюлозное производство. Технология получения лигнина из черного

щелока в опытно-промышленном варианте прошла апробацию на Соломбальском ЦБК в период, когда для варки целлюлозы использовали в основном технологическую щепу из древесины сосны. Полученные продукты были испытаны в качестве наполнителей композиций различного назначения. Существенные изменения, произошедшие как в сырьевой базе целлюлозных предприятий, так и в сфере спроса на их продукты, делают актуальным изучение возможности получения эффективных сорбентов на основе лигнина черных сульфатных щелоков. Проведенные ранее исследования показывают [7], что сульфатный лигнин способен сорбировать соединения различных классов, причем сорбционные свойства препаратов зависят от условий осаждения (в частности, pH) [5]. Однако характеристики сорбционных свойств сульфатного лигнина, приводимые в различных источниках, заметно отличаются [7].

Поэтому представляется актуальным исследовать влияние условий выделения на сорбционные свойства сульфатного лигнина.

Экспериментальная часть

Для исследований сульфатный лигнин выделяли из упаренного черного щелока*, отобранного на Соломбальском ЦБК в период стабильной работы предприятия (плотность 1320 кг/м³, содержание сухих веществ 57,3 %, лигнина 32,0 % в пересчете на сухие вещества, перерабатываемое сырье – еловая балансовая древесина). Для устранения технологических затруднений, связанных с высокой вязкостью упаренного черного щелока, плотный щелок (плотность 1300...1360 кг/м³) предварительно разбавляли до содержания сухих веществ 30...40 %. Выделение лигнина в соответствии с методом, предложенным Б.Д. Богомоловым, проводили 30 %-й серной кислотой при нагревании и постоянном перемешивании [4]. Чтобы обеспечить полное протекание реакций и не допустить изменения структуры лигнина, разложение осуществляли при температуре 65...75 °С, pH разложения варьировали в интервале от 7,0 до 2,0. Для удаления избытка серной кислоты и минеральных примесей проводили двукратную промывку лигнина водой, объем которой соответствовал объему щелока, взятого для разложения. В данном исследовании декантацию твердого осадка осуществляли центрифугированием и фильтрованием. Лигнин высушивали на воздухе при комнатной температуре в течение 10...14 сут.

Для оценки микропористой структуры использовали адсорбцию йода [3], а для оценки мезо- и супермикропористой – адсорбцию метилового голубого [2].

В качестве образца сравнения применяли Фильтрум-СТИ – товарный энтеросорбент на основе гидролизного лигнина.

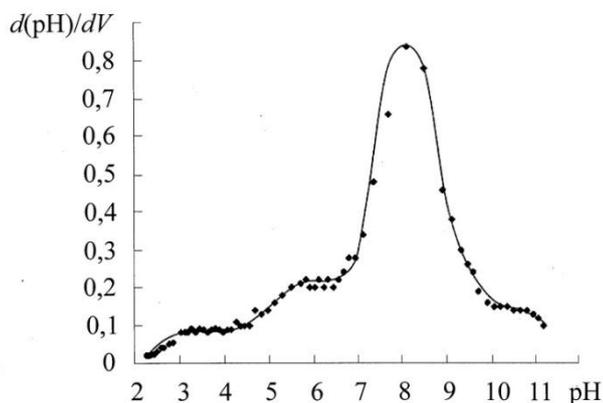
* Выбор упаренного щелока для проведения исследований обоснован наиболее высоким содержанием в нем сухих веществ, что позволяет ожидать более высокого выхода продукта, а также тем фактом, что, поскольку большая часть метилсернистых соединений удаляется в процессе упаривания, при осаждении сульфатного лигнина из упаренного щелока выделяется меньше дурнопахнущих газов.

Обсуждение результатов

Кривая потенциометрического титрования черного щелока (рис. 1) имеет два скачка потенциала: первый (в интервале рН от 10,0 до 7,0) обусловлен преимущественно нейтрализацией свободной щелочи, второй (от 7,0 до 4,0) – замещением ионов натрия на водород в различных кислых группах органических компонентов, основную часть которых составляют производные лигнина [4]. Одновременно при рН < 6,0...7,0 раствор теряет прозрачность за счет перехода соединений лигнина в водонерастворимую кислую форму, что отчетливо фиксируется визуально. Таким образом, возможность для осаждения сульфатного лигнина из черного щелока существует при подкислении до рН 7,0 и ниже.

В интервале рН от 7,0 до 5,0 поддержание строго определенного значения затруднено, поскольку в этом интервале наблюдается скачок потенциала и добавка незначительных количеств кислоты приводит к резкому изменению рН системы. Кроме того, реакция взаимодействия серной кислоты с фрагментами лигнина может протекать в течение 5...15 мин и более. Поэтому при проведении процесса осаждения лигнина значение рН реакционной смеси контролировали в момент подкисления и уточняли после отделения твердого остатка.

Рис. 1. График потенциометрического титрования черного щелока Соломбальского ЦБК



Приведенные на рис. 2, а зависимости демонстрируют, что выход лигнина значительно снижается с увеличением рН осаждения, причем количество лигнина, отделяемого методом центрифугирования, заметно больше, чем при фильтровании. Вместе с тем, зольность полученных образцов (рис. 2, б) в первом случае гораздо выше, чем во втором. По-видимому, при рН 6,0...7,0 осаждается преимущественно наиболее высокомолекулярная часть сульфатного лигнина, а снижение рН приводит к осаждению макромолекул лигнина с меньшей молекулярной массой. Менее полное отделение твердой фракции при фильтровании можно объяснить как потерей мелких частиц осажденного лигнина с фильтратом, так и кристаллизацией минеральной части в процессе центрифугирования. Сопоставление зависимостей зольности образцов и выхода лигнина в пересчете на органические вещества свидетельствует о вкладе как того, так и другого процесса.

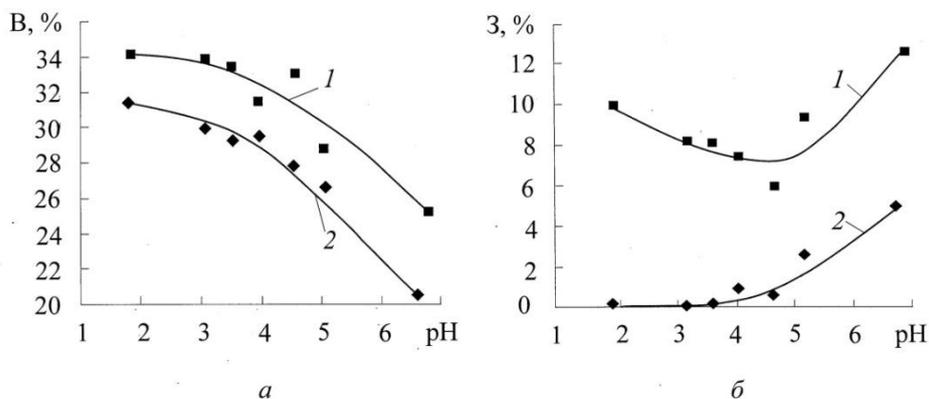


Рис. 2. Зависимость выхода (В) сульфатного лигнина (в пересчете на органические вещества) (а) и зольности (З) (б) от рН осаждения: 1 – центрифугирование, 2 – фильтрование

Представленные на рис. 3 зависимости адсорбционной активности исследованных препаратов демонстрируют, что с увеличением рН осаждения сорбционные свойства сульфатного лигнина улучшаются. Причем адсорбция метиленового голубого (рис. 3, а) у образцов, выделенных в интервале рН от 2,0 до 4,0 возрастает незначительно. Дальнейшее повышение рН осаждения вызывает резкий рост сорбционной активности сульфатного лигнина.

Аналогичные тенденции наблюдаются и при изучении влияния условий осаждения на сорбционную активность сульфатного лигнина по йоду. Но, в отличие от рассмотренных выше зависимостей адсорбционной активности по метиленовому голубому (МГ), для образцов лигнина, декантированных путем фильтрования, характерны повышенная сорбционная активность по йоду в сравнении с препаратами, декантированными центрифугированием, и уменьшение разницы в величине параметра с ростом рН осаждения образцов.

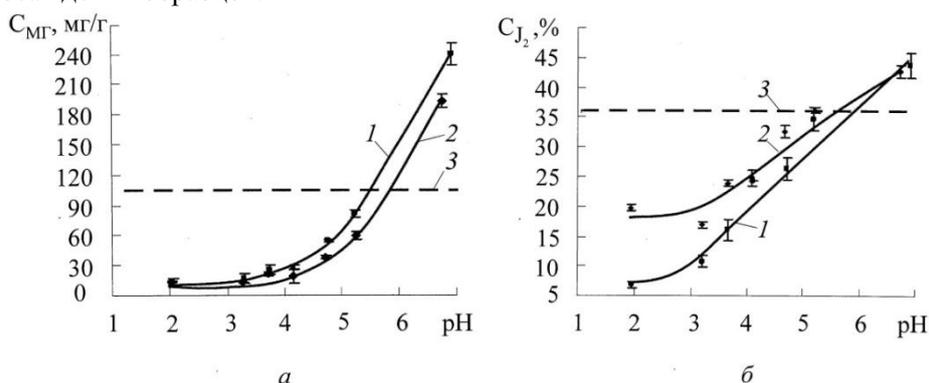


Рис. 3. Зависимость адсорбционной активности сульфатного лигнина по метиленовому голубому C_{MG} (а) и йоду C_{I_2} (б) от рН осаждения: 1 – центрифугирование, 2 – фильтрование, 3 – Фильтрум-СТИ

Для сравнения выделенных образцов сульфатного лигнина с сорбентами из гидролизного лигнина использовали широко применяемый в настоящее время фармацевтический препарат Фильтрум-СТИ. Экспериментально установлено, что по сорбционной активности сульфатный лигнин, выделенный из черных щелоков от делигнификации еловой древесины (рН осаждения около 5,5...6,0), соответствует Фильтрум-СТИ. Таким образом, на основе сульфатного лигнина можно получать сорбенты с достаточно высокими сорбционными свойствами, подкисляя черный щелок до рН 5,5...6,0.

Усредненный образец сульфатного лигнина из разбавленного плотного щелока Соломбальского ЦБК был предоставлен Федеральному центру токсикологической и радиационной безопасности животных для анализа в качестве сорбента микотоксинов. В качестве адсорбатов использовали микотоксин Т-2 и афлатоксин В₁. В ходе проведенных исследований было показано, что сульфатный лигнин по сравнению с другими техническими лигнинами наиболее эффективно адсорбирует микотоксин Т-2 и афлатоксин В₁. Для исключения возможности негативного действия сульфатного лигнина на организм животных в центре были проведены исследования хронической токсичности этого лигнина в опытах на белых крысах. Показано, что введение сульфатного лигнина в корм животным в количестве 0,5...5,0 % от рациона не оказывает отрицательного влияния на их организм. Проверена сравнительная профилактическая эффективность сульфатного лигнина как энтеросорбента при микотоксикозах овец. Установлено, что введение лигнина в рацион животных в количестве 0,5 % при хроническом сочетании микотоксина Т-2 и афлатоксикозе оказывает положительное влияние на показатели неспецифической резистентности животных [1].

Выводы

1. Показано, что сульфатные лигнины, выделенные из щелоков от варки еловой древесины, обладают сравнительно высокими сорбционными свойствами.

2. Установлено, что с понижением рН осаждения увеличивается выход лигнина, но понижается сорбционная активность выделенных препаратов. Сорбенты на основе елового сульфатного лигнина с достаточно хорошими сорбционными свойствами и высоким выходом можно получать, подкисляя черный сульфатный щелок до рН 5,5...6,0.

3. Варьирование методов декантации лигнинного осадка показало, что центрифугирование по сравнению с фильтрованием позволяет более полно выделять мелкие частицы лигнина из маточного раствора, но загрязняет получаемый продукт минеральным шламом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адсорбция микотоксинов техническими лигнинами / З.А. Канарская [и др.] // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 59–63.

2. ГОСТ 4453–74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. Введ. 01.01.76. М., 1991. 12 с.
3. ГОСТ 6217–74. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. Введ. 01.01.76. М., 1992. 7 с.
4. Переработка сульфатного и сульфитного щелоков: учеб. для вузов / Б.Д. Богомолов [и др.]. М., 1989. 360 с.
5. Селянина С.Б., Селиванова Н.В. Гидрофильно-олеофильные свойства сульфатного лигнина // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80, № 7. С. 1170–1175.
6. Энтеросорбция / под ред. Н.А. Белякова. Л., 1991. 336 с.
7. Suhas P.J.M. Lignin – from natural adsorbent to activated carbon: areview // Bioresource Technology. 2007. Vol. 98. P. 2301–2312.

Поступила 20.10.11

A.I. Andreev¹, S.B. Selyanina², N.L. Bogdanovich¹

¹*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov*

²*Institute of Ecological Problems of the North Ural Division of the Russian Academy of Science*

Description of Sorption Properties of Kraft Lignin

The effect of the method of separation of solid residue from the mother solution and of pH precipitation on the return and sorption capacity of kraft lignins extracted from evaporated black liquor at Arkhangelsk pulp and paper mill. It has been proved that kraft lignin can effectively be used as an effective sorbent.

Keywords: sorbent, kraft lignin, black liquor sulfate, sorption activity, centrifugation, filtration.

УДК 546.722:54-148

***И.М. Бабкин*¹, *О.С. Бровко*², *Ю.Г. Хабаров*¹, *В.А. Вешняков*¹,
*М.В. Труфанова*²**

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Бабкин Игорь Михайлович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры технологии ЦБП Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области химии древесины, химии лигнина.
E-mail: Igorij900@yandex.ru



Бровко Ольга Степановна родилась в 1960 г., окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 120 печатных работ в области химии древесины, химии лигнина.
E-mail: brovko-olga@rambler.ru



Хабаров Юрий Германович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры технологии ЦБП Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 180 печатных работ в области химии древесины, органической и аналитической химии.
E-mail: khabarov.yu@mail.ru



Вешняков Вячеслав Александрович родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 20 печатных работ в области химии древесины, органической и аналитической химии.
E-mail: vyaczech@bk.ru



Труфанова Марина Витальевна родилась в 1977 г., окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 30 печатных работ в области химии древесины, химии лигнина.
E-mail: mtrufanova@yandex.ru



ВЛИЯНИЕ НИТРОЗИРОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ АКТИВНОСТЬ ЛИГНОСУЛЬФОНОВЫХ КИСЛОТ

С помощью методов планированного эксперимента изучено влияние нитрозиrowания на поверхностную активность лигносульфоновых кислот.

Ключевые слова: лигносульфоновые кислоты, лигносульфонаты, нитрозирование, поверхностное натяжение, поверхностная активность.

Лигносульфоновые кислоты (ЛСК) являются уникальными техническими лигнинами, которые сочетают в себе свойства полимерного соединения и прекрасно растворяются в водной среде.

Наличие в их структуре целого набора функциональных групп определяет их реакционную способность. Дифильность макромолекул ЛСК, обусловленная наличием гидрофобных структурных фрагментов и полярных групп, определяет поверхностную активность ЛСК и их солей – лигносульфонатов технических (ЛСТ).

Модифицирование позволяет существенно изменять физико-химические свойства ЛСК. Среди многочисленных способов модификации можно выделить реакцию нитрозиrowания, которая относится к реакциям электрофильного замещения атомов водорода бензольного ядра фенилпропановых единиц лигнина [2]. Преимущество нитрозиrowания – очень мягкие условия проведения реакции, которая проходит с большой скоростью.

Нитрозиrowанные ЛСК становятся более сильными комплексообразователями и образуют прочные комплексы с катионами многих металлов, в том числе с биогенными [6]. Кроме того, они приобретают и совершенно новое свойство – становятся эффективным пептизатором. В условиях синтеза магнитоактивного соединения формирование магнитной активности происходит значительно быстрее. Если синтез магнитоактивного соединения проводится в присутствии нитрозиrowанных лигносульфонатов, то выделенный первоначально крупнодисперсный осадок магнитоактивного соединения через некоторое время изменяется. Частицы его становятся все меньше, и коллоидная система становится магнитной жидкостью.

Одним из возможных объяснений необычных свойств нитрозиrowанных ЛСК является изменение поверхностной активности ЛСТ при введении в их структуру нитрозогрупп.

Нитрозогруппы относятся к сильным электроноакцепторным полярным заместителям [7, 8]. С одной стороны, они увеличивают кислотные свойства фенольных гидроксильных групп, с другой – полярность ароматических ядер фенилпропановых единиц, но при этом мало влияют на полярность пропановых цепочек.

Задача, которая стояла перед нами, – оценить влияние нитрозиrowания на поверхностную активность ЛСК.

Методическая часть

В ходе эксперимента были использованы нитрит натрия, азотная (65 %) кислота, гидроксид натрия, имеющие квалификацию х.ч., а также ЛСТ. Из них были приготовлены водные растворы следующих концентраций: 1 М раствор NaOH; 10 %-й раствор азотной кислоты; растворы NaNO₂ (2,5 г/л) и ЛСТ (18,6 г/л).

Нитрозирование ЛСТ проводили в стакане вместимостью 150 мл. Для этого в стакан вносили 8 мл раствора исходных ЛСТ, приливали 100 мл воды, добавляли расчетные объемы 10 %-го раствора азотной кислоты и раствора нитрита натрия и выдерживали реакцию смесь в течение заданного времени, по истечении которого реакцию смесь подщелачивали раствором гидроксида натрия до pH 5,4...5,8. Затем раствор переносили в мерную колбу вместимостью 200 мл и доводили до метки дистиллированной водой.

Поверхностное натяжение растворов определяли методом Вильгельми [3], который позволяет получить достоверные экспериментальные данные с высокой точностью и воспроизводимостью. Метод основан на том, что тонкая металлическая пластинка удерживает мениск с силой, пропорциональной поверхностному натяжению:

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{пл}} + \sigma p,$$

где $F_{\text{общ}}$ – показания весов в момент отрыва пластинки, кг;

$F_{\text{пл}}$ – масса сухой пластинки, кг;

σ – поверхностное натяжение, Дж/м²;

p – периметр пластинки, м.

В соответствии с рекомендациями [1] перед измерением сосуд с исследуемым раствором выдерживали в течение 1 сут. Силу отрыва пластинки, предварительно прокаленной в пламени газовой горелки, измеряли с помощью торсионных весов. Поверхностное натяжение раствора рассчитывали по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{F_{\text{общ}} - F_{\text{пл}}}{p}.$$

Доверительный интервал измерения поверхностного натяжения для растворов составляет $\pm 0,2$ мДж/м².

Обсуждение результатов

Для достижения поставленной цели был использован планированный эксперимент [5], при выполнении которого применен рототабельный план второго порядка. В качестве независимых переменных были выбраны расходы нитрита натрия NaNO₂(X_1) и азотной кислоты HNO₃(X_2), а также продолжительность (X_3) реакции. Интервалы варьирования независимых переменных представлены в табл. 1.

На основании результатов экспериментов, приведенных в табл. 2, были вычислены коэффициенты уравнения регрессии – полинома второго порядка (1), и проведена оценка их значимости (2):

$$\sigma = 52,33 - 2,65X_1 + 1,48X_2 - 1,18X_3 + 3,50X_1^2 - 0,33X_1X_2 - 1,08X_1X_3 + 1,90X_2^2 + 1,58X_2X_3 - 0,34X_3^2; \quad (1)$$

$$\sigma = 52,00 - 2,65X_1 + 1,48X_2 - 1,18X_3 + 3,56X_1^2 - 1,08X_1X_3 + 1,96X_2^2 + 1,58X_2X_3. \quad (2)$$

Коэффициенты при независимых переменных по абсолютной величине отличаются друг от друга незначительно. Знаки коэффициентов различны.

Таблица 1

Интервалы варьирования независимых переменных

Уровень	Расход, % от массы ЛСТ		Продолжительность нитрозирования, мин
	NaNO ₂	HNO ₃	
-1,414	0	0	20
-1	3,7	20,5	26
0	12,6	70,8	40
1	21,5	121,1	54
1,414	25,2	141,7	60

Таблица 2

Результаты эксперимента

Независимые переменные						Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Дж/м ²		s*, %
Расход				Продолжительность нитрозирования (X ₃)		эксперимент	расчет	
NaNO ₂ , (X ₁)		HNO ₃ , (X ₂)		кодированные	натуральные, мин			
кодированные	натуральные, % от массы ЛСТ	кодированные	натуральные, % от массы ЛСТ					
-1	3,7	-1	20,5	-1	26	60,5	60,6	0,1
1	21,5	-1	20,5	-1	26	56,0	56,8	1,4
-1	3,7	1	121,1	-1	26	62,6	59,7	4,6
-1	3,7	-1	20,5	1	54	59,1	57,2	3,2
1	21,5	1	121,1	-1	26	54,5	57,2	5,0
1	21,5	-1	20,5	1	54	45,4	49,1	8,2
-1	3,7	1	121,1	1	54	62,6	62,7	0,1
1	21,5	1	121,1	1	54	55,1	55,9	1,4
-1,414	0	0	70,8	0	40	59,5	63,1	6,0
0	12,6	-1,414	0	0	40	55,6	54,0	2,8
0	12,6	0	70,8	-1,414	20	53,3	53,3	0,1
1,414	25,2	0	70,8	0	40	60,9	55,6	8,7
0	12,6	1,414	141,7	0	20	58,4	58,2	0,3
0	12,6	0	70,8	1,414	60	52,7	50,0	5,1
0	12,6	0	70,8	1	54	47,9	50,8	3,9
0	12,6	0	70,8	0	40	56,0	52,3	6,5
0	12,6	0	70,8	0	40	48,9	52,3	9,3

*Среднее значение относительной погрешности составляет 3,6 %.

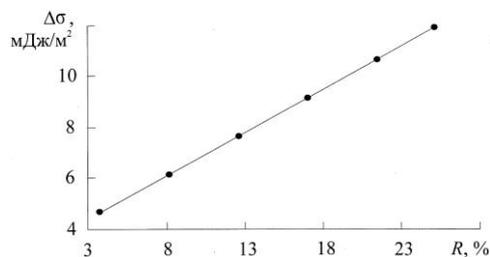


Рис. 1. Зависимость изменения поверхностного натяжения $\Delta\sigma$ модифицированных ЛСТ от расхода R нитрита натрия за 1 ч реакции при расходе азотной кислоты 20,5 % от массы ЛСТ

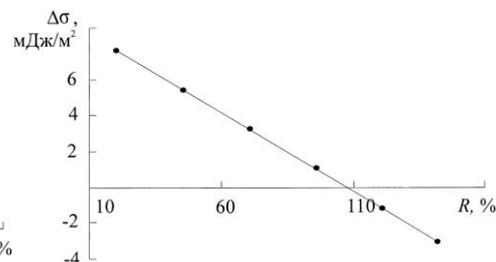


Рис. 2. Зависимость изменения поверхностного натяжения $\Delta\sigma$ модифицированных ЛСТ от расхода R азотной кислоты за 1 ч реакции при расходе нитрита натрия 12,6 % от массы ЛСТ

Расчетное значение критерия Фишера составляет 0,955, табличное – 2,59 [4]. Поэтому можно считать, что выбранная модель адекватно описывает экспериментальные данные.

Для наглядного представления полученных зависимостей были построены графики, отражающие связь между поверхностным натяжением и продолжительностью реакции нитрозирования при фиксированных значениях расходов нитрита натрия и азотной кислоты (рис. 1, 2).

Из рис. 1 следует, что увеличение расхода нитрита натрия приводит к линейному уменьшению поверхностного натяжения на всем диапазоне R , а из рис. 2 – что с повышением расхода азотной кислоты наблюдается систематическое снижение поверхностной активности, причем при максимальных расходах кислоты поверхностное натяжение даже превышает этот показатель для исходных ЛСТ.

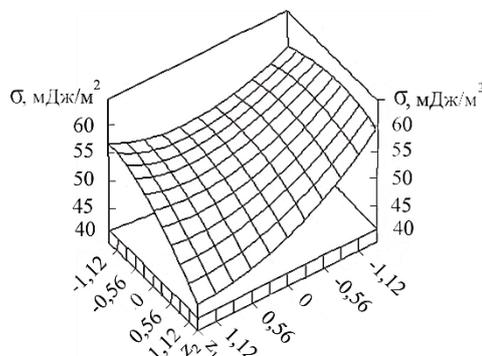
Такая связь между поверхностной активностью модифицированных ЛСТ и расходом нитрита, вероятно, связана с тем, что с увеличением количества нитрита степень нитрозирования ЛСТ возрастает, что сказывается на поверхностной активности.

Зависимость поверхностной активности от расхода азотной кислоты, по-видимому, можно объяснить тем, что наряду с нитрозированием ЛСТ происходит частичное окисление пропановых цепочек фенилпропановых единиц. Это уменьшает гидрофобность этих радикалов и, как следствие, снижает поверхностную активность.

Для наглядности экспериментальные данные были представлены в виде полинома второго порядка, в котором в качестве независимых переменных были выбраны продолжительность реакции нитрозирования (z_2) и мольное соотношение нитрита натрия и азотной кислоты. Была получена поверхность отклика, изображенная на рис. 3.

Как следует из рис. 3, зависимость поверхностного натяжения от этих переменных сложная – с увеличением обеих независимых переменных поверхностное натяжение уменьшается.

Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения от мольного соотношения нитрита натрия и азотной кислоты (z_1) и продолжительности нитрозирования (z_2)



При синтезе магнитоактивного соединения с применением нитрозованных лигносульфонатов, имеющих различную молекулярную массу, нами было замечено, что низкомолекулярные фракции лигносульфонатов даже после нитрозирования не приобретают пептизирующих свойств. Поэтому было определено поверхностное натяжение нитрозованных фракций технических ЛСТ с молекулярной массой 8 и 79 кДа. Оказалось, что поверхностное натяжение у этих фракций существенно различается и составляет 64 и 50 мДж/м² соответственно, т. е. поверхностная активность модифицированных высокомолекулярных фракций ЛСТ намного выше, чем у низкомолекулярных.

Таким образом, в ходе экспериментов установлено, что нитрозирование увеличивает поверхностную активность ЛСК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Н.И., Тельтевская С.Е., Пазухина Г.А. Поверхностная активность лигносульфонатов, выделенных на последовательных стадиях делигнификации // Лесн. журн. 1996. №1-2. С. 142–148. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Беляев Е.Ю., Гидаспов Б.В. Ароматические нитрозосоединения. Л.: Химия, 1989. 176 с.
4. Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие / Н.И. Богданович [и др.]. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 126 с.
3. Вережников В.Н. Практикум по коллоидной химии поверхностно-активных веществ: учеб. пособие. Воронеж, 1984. 224 с.
5. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. М.: Химия, 1980. 280 с.
6. Хабаров Ю.Г. Модификация лигнинов соединениями железа. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 166 с.
7. Химия нитро- и нитрозогрупп. В 2-х т. Т. 1 / под ред. Фойера; пер. с англ. М.: Мир, 1972. 536 с.
8. Химия нитро- и нитрозогрупп. В 2-х т. Т. 2 / под ред. Фойера; пер. с англ. М.: Мир, 1973. 300 с.

Поступила 20.10.11

I.M. Babkin¹, O.S. Brovko², J.G. Khabarov¹, V.A. Veshnyakov¹, M.V. Trufanova²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Institute of Ecological Problems of the North Ural Division of the Russian Academy

The Effect of Nitrosation on Surface Active of Lignosulfuric Acids

Using the method of the planned experiments, the influence of lignosulfonates nitrosation on surface activity of lignosulfuric acids has been studied.

Keywords: lignosulfonic acids, lignosulfonates, nitrosation, surface tension, surface activity.

УДК 676.017.22:531.71

В.В. Коваленко¹, Н.В. Сысоева¹, В.К. Дубовый², А.И. Безлаковский³

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

³ОАО «Новгородский завод стекловолокна»

Коваленко Влада Валерьевна родилась в 1987 г., окончила в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, ассистент кафедры стандартизации, метрологии и сертификации. Имеет более 10 печатных работ в области исследования минеральных волокон бумагоподобных композитов на основе минеральных волокон и связующих.
E-mail: vlada.valeryevna@gmail.com



Сысоева Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 60 печатных работ в области совершенствования технологии получения бумаги, картона и подобных листовых материалов из растительных и минеральных волокон.
E-mail: synat@agtu.ru



Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, доцент С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 150 печатных работ в области технологии бумаги и картона.
E-mail: dubovy2004@mail.ru



Безлаковский Антон Игоревич родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Новгородский государственный университет, кандидат технических наук, ген. директор ОАО «Новгородский завод стекловолокна». Имеет около 20 печатных трудов в области оптимизации технологии получения минеральных волокон и расширения области их использования.
E-mail: nzsiv@mxс.ru



ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПО ДЛИНЕ ШТАПЕЛЬНЫХ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Показаны зависимости изменения длины от диаметра стеклянных волокон. Даны рекомендации по способу представления результатов измерения длины стеклянных волокон. Подтверждена полидисперсность стеклянных волокон по длине, определен фракционный состав по длине волокон разных марок, используемых для получения специальных видов бумаги.

Ключевые слова: минеральное волокно, длина стеклянного волокна, методы определения длины волокна, методики измерения.

©Коваленко В.В., Сысоева Н.В., Дубовый В.К., Безлаковский А.И., 2011

В настоящее время особое место на рынке высокотехнологичных материалов занимают композиты из стеклянного волокна ввиду своих уникальных свойств. Важнейшие параметры этих материалов (шумо- и теплоизоляционные свойства, впитывающая и фильтрующая способность, сорбционная емкость) во многом зависят от геометрических размеров элементарных волокон и их фракционного распределения. Следует также учитывать, что для формирования структуры особое значение приобретают следующие факторы:

состояние поверхности и форма поперечного сечения волокна (гладкая, шероховатая или пористая поверхность, круглая, овальная или звездчатая форма поперечного сечения ведут к различному, а в случае неправильной формы, к весьма сложному распределению напряжений в структуре соединения);

величина и постоянство диаметра волокна и фракционный состав по длине волокна (определяются такими важными показателями, как число волокон в системе и их удельная поверхность).

Контролируемым параметром в производстве стеклянных волокон, используемых для специальных видов бумаги, в настоящее время является диаметр.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что для расширения области использования минеральных штапельных волокон необходимо иметь представление не только об их диаметре, но и о средней длине и фракционном составе волокон.

На предприятиях, использующих в композиции бумаги минеральные волокна, нет унифицированных методов определения их длины, что в первую очередь объясняется отсутствием адекватных методик измерения.

Так, сложность использования современных методов определения геометрических размеров и фракционного распределения для минеральных волокон обусловлена принципами работы анализаторов. Основным рабочим инструментом всех современных приборов для определения структурных характеристик волокон являются светодиод и камера, расположенные с противоположных сторон стеклянной измерительной ячейки. Таким образом, принцип измерения основан на поглощении света волокнами, попадающими в область измерения. Основные отличия анализаторов волокна ведущих фирм производителей (KAJAANI FS-200, фирма «KAJAANI electrics», и FiberTester компании «Lorentzen&Wettr») заключаются в конструкции измерительной ячейки и методах обработки данных, а не в принципах получения информации.

Стеклянные и другие минеральные волокна, в отличие от растительных и прочих волокон, очень тонкие и прозрачные, поэтому использование выше перечисленных анализаторов вследствие интерполяции света не позволяет получить достоверную информацию о размерах.

Наиболее часто для определения длины волокон на российских бумажных фабриках применяется весовой метод Иванова, основным недостатком

которого является отсутствие таблиц коэффициентов пересчета единиц измерения из авторских (дециграмм) в унифицированные (миллиметр) для минеральных волокон.

Проблема может быть решена за счет составления необходимых таблиц пересчета для применения весового метода Иванова или разработка новых более современных методов анализа.

В данном исследовании для определения геометрических размеров стеклянных штапельных волокон использовали микроскоп «Биолар», с калиброванными линейками, предназначенный для наблюдения тонкопленочных препаратов в проходящем свете. Необходимо отметить, что ручная настройка области изображения позволила избежать технических сложностей, связанных с повышенной флокуляцией стеклянных волокон и интерполяцией света.

Данный прибор позволяет изучать препараты при разном увеличении. Для приготовления препарата на предметное стекло наносили небольшое количество волокон и разбавляли дистиллированной водой. Затем препаратными иглами массу тщательно разделяли на отдельные волокна и покрывали препарат чистым покровным стеклом, подводя его сбоку, чтобы избежать попадания пузырьков воздуха. Излишки воды удаляли при помощи фильтровальной бумаги. Убедившись, что препарат приготовлен правильно, помещали его на предметный столик микроскопа. Длину волокна измеряли с помощью микроскопа с окулярной линейкой. Полученные результаты обрабатывали на компьютере, при этом получали средние и средневзвешенные значения длины волокна, а также распределение волокон по фракционному составу, выраженное в числовых и взвешенных процентах.

В ходе работы были исследованы наиболее часто используемые в бумажном производстве марки стеклянных волокон: нанотонкое волокно диаметром 0,1 мкм (НТВ-0,1), микротонкое волокно диаметрами 0,25 и 0,4 мкм (соответственно МТВ-0,25 и МТВ-0,4); ультратонкое волокно диаметром 0,6 мкм (УТВ-0,6); супертонкое волокно диаметром 3 мкм (СТВ-3,0).

Во избежание ошибок проводили три параллельных определения для каждой исследуемой пробы. Результаты измерений легли в основу расчета среднеарифметической (деление общей условной длины всех волокон на их количество) и средневзвешенной (в расчете используют массовую долю фракций с разной длиной) длин волокон. Среднеарифметическая длина волокна и количество коротковолокнистых фракций, выраженное в процентах, всегда меньше средневзвешенной длины волокна и массовой доли коротковолокнистых фракций. Это различие тем больше, чем выше содержание в полуфабрикате коротких волокон. При этом считается, что именно средневзвешенная длина волокна более точно характеризует свойства волокнистого полуфабриката.

**Результаты микроскопических исследований длины (мм)
стеклянных штапельных волокон разных марок**

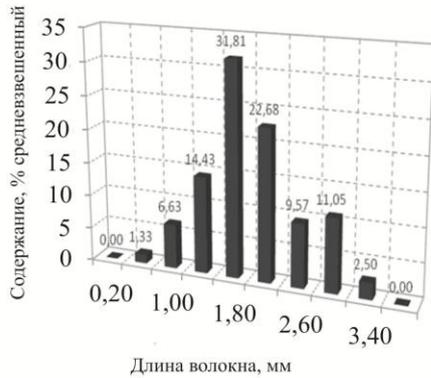
Марка волокна	Длина волокна	Параллельные определения			Среднее
		1	2	3	
НТВ-0,1	Среднеарифметическая	1,62	1,67	1,81	1,70
	Средневзвешенная	1,96	2,47	2,02	2,15
	Минимальная	0,08	0,06	0,11	–
	Максимальная	6,10	5,47	6,40	–
МТВ-0,25	Среднеарифметическая	3,01	2,79	2,94	2,91
	Средневзвешенная	3,53	3,32	3,41	3,42
	Минимальная	1,25	1,04	1,31	–
	Максимальная	7,03	6,30	6,44	–
МТВ-0,4	Среднеарифметическая	2,97	3,56	3,26	3,26
	Средневзвешенная	3,44	4,00	3,77	3,74
	Минимальная	0,95	0,99	0,93	–
	Максимальная	7,44	10,57	8,03	–
УТВ-0,6	Среднеарифметическая	5,04	4,86	4,99	4,96
	Средневзвешенная	5,78	5,67	5,75	5,73
	Минимальная	1,80	1,89	1,80	–
	Максимальная	12,24	10,15	12,70	–
СТВ-3,0	Среднеарифметическая	8,75	7,76	8,45	8,32
	Средневзвешенная	9,51	9,57	9,58	9,55
	Минимальная	2,66	2,07	2,11	–
	Максимальная	13,80	15,75	16,10	–

Примечание. Жирным шрифтом выделены «крайние» значения по длине волокон среди всех параллельных.

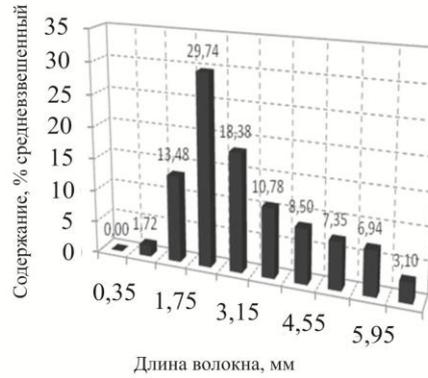
Результаты исследований длины волокна представлены в таблице и свидетельствуют о меньшей вариации средневзвешенной длины волокна между параллельными определениями для всех марок волокон по сравнению со среднеарифметической, что закономерно, учитывая особенности их вычисления.

Отмечено повышение средней длины волокна по мере перехода от нанотонких (НТВ-0,1) к супертонким (СТВ-3,0) волокнам.

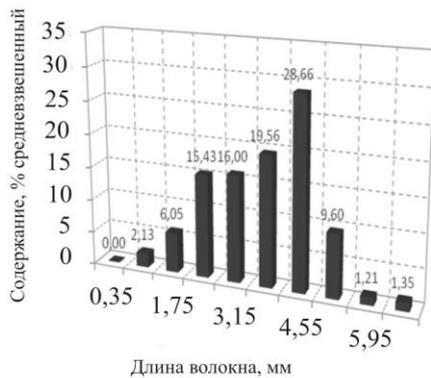
Установленная высокая полидисперсность по длине волокон обусловлена особенностями их получения и подтверждается большой разницей между минимальным и максимальным значениями по длине волокна независимо от марки. Например, интервалы вариации длины для НТВ-0,1 и СТВ-3,0 составили 6,34 и 14,03 мм соответственно. Из данных, представленных в таблице, следует, что при увеличении диаметра исследуемых стеклянных волокон интервал вариации по длине также возрастает.



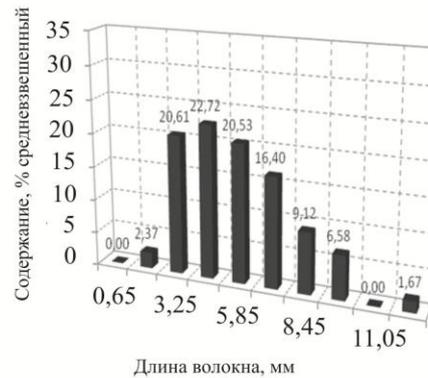
а



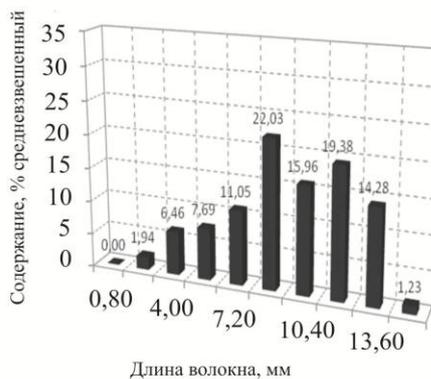
б



в



г



д

Фракционный состав по длине волокон разных марок: а – НТВ-0,1; б – МТВ-0,25; в – МТВ-0,4; г – УТВ-0,6; д – СТВ-3,0

Для получения более полной картины были построены гистограммы фракционного распределения волокон по длине (см. рисунок).

Распределения по длине, представленные на графиках, близки к нормальному. При этом для волокон марок НТВ и МТВ пики распределения

более выражены, а диапазон, в котором находится основная масса волокон в выборке, более узкий, чем для марок УТВ и СТВ. Данный факт обусловлен более высокой полидисперсностью по длине стеклянных волокон с большим диаметром.

Необходимо отметить, что используемый в работе метод определения длины волокна достаточно трудоемкий и длительный. Поэтому для производителей бумаг специального назначения с использованием минеральных волокон остро стоит вопрос разработки унифицированных методов определения длины волокна, учитывающих особенности его физических свойств и позволяющих проводить контроль длины в он-лайн режиме.

Основные выводы по данной работе представлены ниже.

1. Установлена высокая полидисперсность исходных стеклянных волокон по длине независимо от их марки.

2. Экспериментально показана прямо пропорциональная зависимость между длиной и диаметром волокон.

3. Для более полного и точного представления о длине волокна корректнее пользоваться средневзвешенными значениями, при этом разница между среднечисловыми и средневзвешенными значениями тем больше, чем меньше длина волокон, т.е. чем больше содержание короткой фракции.

Поступила 20.10.11

V.V. Kovalenko¹, N.V. Sysoeva¹, V.K. Dubovoy², A.I. Bezlakovskiy³

¹Northern (Arctic) Federal University named by M.V. Lomonosov

²Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

³JSC «Novgorod Mill of Glass Fiber»

Fractional Composition Along the Length of Staple Glass Fibers which are Used in Paper-Making Production, Measuring Methods

Dependes of changes glass fibers length on their diameters in shown. The choice of a method to present the result of glass fibers length measurement is recommended. The polydispersity of fiber length is confirmed, fractional composition based on the length of staple glass fibers of various types used for production of special types of paper is determined.

Keywords: mineral fibers, length of glass fiber, methods for determining the length of fiber, measuring methods.

УДК 634.986: 615.7

Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова, С.И. Третьяков

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

Коптелова Елена Николаевна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области технологии экстрактивных веществ. E-mail: elen-koptelova@yandex.ru



Кутакова Наталья Алексеевна родилась в 1953 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 50 научных трудов в области технологии сорбентов и экстрактивных веществ. E-mail: lesochim@agtu.ru



Третьяков Сергей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 90 печатных трудов в области химической переработки древесины. E-mail: lesochim@agtu.ru



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ЭТАНОЛЬНОГО ЭКСТРАКТА БЕРЕСТЫ

Изучен состав этанольного экстракта бересты. С использованием хромато-масс-спектрометрии, показано, что основными компонентами экстракта бересты являются бетулин и лупеол.

Ключевые слова: экстракция, этанольный экстракт бересты, бетулин, лупеол.

Кора березы служит источником разнообразных экстрактивных веществ. Наиболее богата экстрактивными веществами внешняя кора различных видов берез, в экстрактах которой преобладают пентациклические три-терпеноиды ряда лупана, основным представителем которых является бетулин. Его содержание во внешней коре составляет от 10 до 40 % от массы абс. сухого вещества (а.с.в.) в зависимости от вида березы, места и условий ее произрастания, возраста дерева и т.д. [1]. Бетулин обладает противовирусными, противоопухолевыми и антисептическими свойствами, проявляет антиоксидантную активность. Доступность и биологическая активность бетулина ставят его в ряд ценных природных соединений.

Экспериментальная часть

Нами был изучен состав этанольного экстракта бересты (ЭЭБ), выделенного различными способами (см. таблицу). В качестве исходного сырья использована береста березы, заготовленная в окрестностях г. Архангельска, и образцы промышленной бересты Архангельского фанерного завода. В качестве растворителя использован 95 %-й этиловый спирт. Выбор экстрагента произведен исходя из основных требований: доступность, невысокая температура кипения, широкое применение этилового спирта для изготовления лекарственных настоек и экстрактов.

Экстракция бетулина проведена дефлегмационным методом в аппарате Сокслета путем настаивания с двукратной сменой растворителя и применением ультразвука. Экстракция с ультразвуком осуществлена в лабораторном ультразвуковом аппарате, частота ультразвуковых колебаний составляла 22 кГц. Электронный генератор характеризовался потребляемой от электрической сети мощностью 140 Вт [3].

Выделение бетулина из экстракта проводили двумя способами: первый – частичная отгонка растворителя и осаждение бетулина водой, в результате чего получен порошок светло-бежевого цвета, второй – полная отгонка растворителя с получением порошка бежевого цвета. В обоих случаях сушка бетулина-сырца проведена при температуре 60 °С.

Качественный и количественный состав продуктов исследовали на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP 2010 Plus фирмы «Shimadzu*». Была использована капиллярная колонка HP-5MS длиной 60 м, имеющая внутренний диаметр 0,32 мм. Условия хроматографирования: газа-носитель – гелий; скорость потока – 37 см/мин; температура ввода образца – 300 °С; начальная температура – 110 °С; подъем температуры до 220 °С – со скоростью 10 °С/мин, до 300 °С – со скоростью 40 °С/мин; изотермальный режим – 35 мин; температура трансферной линии – 280 °С, источника ионов – 250 °С; режим электронного удара при 70 eV, детекция молекулярных масс – от 50 до 500.

Определение компонентов ЭЭБ осуществлено сопоставлением времени удерживания пиков на хроматограмме и полных масс-спектров отдельных компонентов с соответствующими данными чистых соединений из библиотеки масс-спектров NIST 2008. Относительное количественное содержание компонентов экстракта рассчитано методом внутренней нормализации площадей пиков.

Результаты и обсуждение

Основные фракции этанольного экстракта бересты – тритерпеноиды бетулин и лупеол.

Идентификация бетулина и лупеола была проведена с высокой вероятностью [2] (индекс сходства с табличными спектрами превышал 80 %).

* Хроматографические исследования проведены в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Состав этанольного экстракта бересты, выделенного разными способами

Береста	Метод получения	Содержание, % от суммы экстрагированных веществ (ЭВ)		
		бетулина (Б)	лупеола (Л)	Б+Л
Промышленная	Дефлегмационный	57,8	26,9	84,7
		70,6	26,3	96,9
	Настаивание с двукратной сменой растворителя	80,2	12,6	92,8
78,8		13,2	92,0	
Свежезаготовленная	Настаивание с двукратной сменой растворителя и обработкой ультразвуком	70,4	27,8	98,2
		64,9	28,8	93,7
	Настаивание с двукратной сменой растворителя	44,7	18,9	63,6

Примечание. В числителе приведены данные по первому способу извлечения, в знаменателе – по второму.

Основным ионом, совпадающим с молекулярной массой бетулина, является m/z 442 (рис. 1, а). Идентифицирующим фрагментом, который получается при отщеплении спиртовой группы в положении 28, является фрагмент m/z 411 (рис. 1, а и б) [2]. Характер фрагментации исследуемого вещества (m/z 55, 69, 81, 95, 107, 121, 135, 161, 175, 189, 234) свидетельствует о принадлежности данного соединения к лупановому ряду.

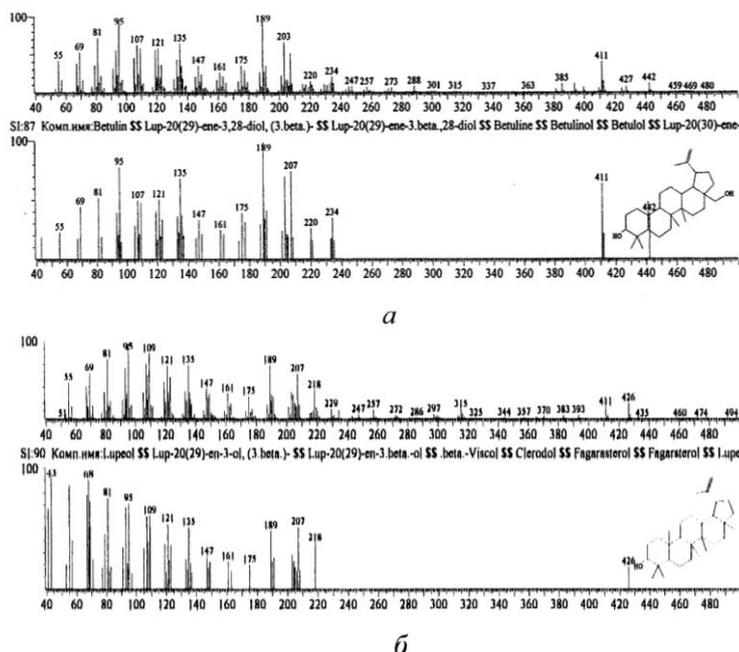


Рис. 1. Идентификация бетулина (а) и лупеола (б) с базой данных библиотеки масс-спектров

Другим идентифицированным соединением является лупеол с молекулярной массой 426 (рис. 1, б). При отщеплении метильной группы в положении 28 образуется фрагмент с m/z 411, кроме этого идентифицированы следующие фрагменты лупеола с m/z 81, 95, 109, 135, 189, 207, 218.

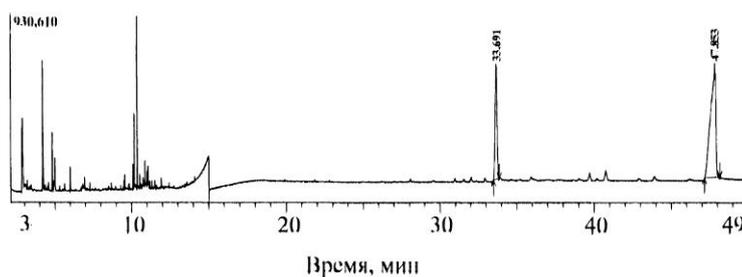
Метод настаивания с двукратной сменой растворителя обеспечивает максимальное содержание бетулина в экстракте (80 % от суммы ЭВ). Хроматограмма ЭЭБ, полученного методом настаивания и ультразвуковой обработкой, представлена на рис. 2.

Относительное содержание лупеола в этанольном экстракте бересты варьирует в пределах 13...29 % от суммы ЭВ, причем максимальный его выход наблюдается при ультразвуковой обработке (рис. 2, б).

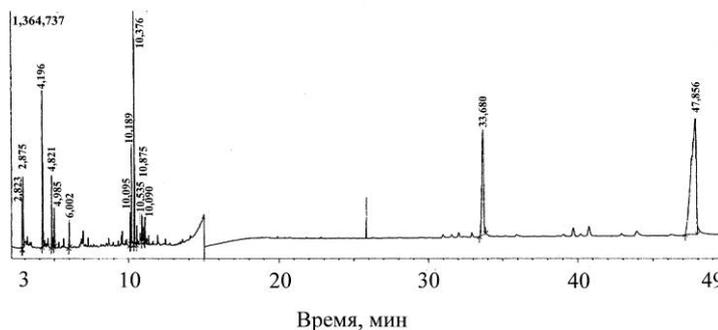
Выводы

1. Способ экстрагирования влияет на содержание бетулина в экстракте и практически не оказывает влияния на содержание лупеола.

2. Выход бетулина, полученного при полной отгонке растворителя из экстракта, больше, чем при частичной отгонке растворителя и дальнейшем осаждении водой.



а



б

Рис. 2. Хроматограмма ЭЭБ, полученного методом настаивания (а) и ультразвуковой обработкой (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кислицын А.Н.* Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, применение // *Химия древесины*. 1994. № 3. С. 3–28.
2. *Кузнецова С.А., Кузнецов Б.Н., Веселова О.Ф.* Изучение состава гексанового экстракта бересты и его токсико-фармакологических свойств // *Химия растительного сырья*. 2008. № 1. С. 45–49.
3. *Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tretyakov S.I.* Isolation of betulin from birch bark with the use of ultrasound // *Renewable wood and plant resources: chemistry, technology, pharmacology, medicine: International Conference, St-Petersburg, June 21–24, 2011*. P. 100.

Поступила 20.10.11

E.N. Koptelova., N.A. Kutakova., S.I. Tretyakov

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

Determination of Ethanol Extract of Birch Bark

The composition of the ethanol extract of bark has been studied. Gas chromatography-mass spectrometry analysis has showed that the main components of the birch bark extract are betulin and lupeol.

Keywords: extraction, ethanol extract of bark, betulin, lupeol.

УДК 676.017:628.34

А.И. Смирнова, А.Б. Дягилева

С.-Петербургский государственный технологический университет
растительных полимеров

Смирнова Анастасия Игоревна родилась в 1987 г., окончила в 2009 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПб ГТУРП.
E-mail: smimova_nasty87@mail.ru



Дягилева Алла Борисовна родилась в 1957 г., окончила в 1979 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор химических наук, доцент кафедры охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов СПб ГТУРП. Имеет более 70 научных работ в области физико-химической очистки сточных вод и рационального использования природных ресурсов.
E-mail: abdiag@mail.ru



МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СУЛЬФАТНОГО ЛИГНИНА И АЛЮМОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ

Обсуждаются механизмы получения органоминеральных структур на основе технических лигнинов и алюмосодержащих компонентов в зависимости от условий их выделения.

Ключевые слова: сульфатный лигнин, сточные воды, гетерофильные системы, органоминеральные структуры, реологические свойства.

В настоящий момент проблема выделения лигнинных компонентов из водных потоков остается актуальной. Технические лигнины являются модифицированными природными соединениями, которые имеют значительное количество разнообразных функциональных групп, что определяет их гетерофильность и устойчивость в водных системах. Однако эти соединения за счет своей полифункциональности могут быть использованы целевым назначением для получения новых органоминеральных структур (ОМС).

Разработка технологических решений по получению ОМС может быть совмещена с технологией очистки воды от лигнинных примесей традиционных потоков целлюлозно-бумажных производств с использованием на стадии физико-химической очистки композиционных коагулянтов-флокулянтов (ККФ) и последующим выделением дисперсии ОМС, которую можно будет применить для рекультивации почв на урбанизированных территориях.

© Смирнова А.И., Дягилева А.Б., 2011

В качестве основы для получения ККФ может быть использовано как природное, так и минеральное сырье техногенного происхождения: отходы горнодобывающей промышленности (нефелиновые хвосты), зола от сжигания осадков сточных вод ЦБП.

В связи с этим была поставлена задача изучения влияния ККФ на формирование новых ОМС на основе сульфатного лигнина (СЛ) и различных алюмосодержащих композиций. В качестве объекта исследования был выбран СЛ Сегежского ЦБК, который выделяли в жестких условиях из черного щелока. Лигнин получали подкислением водного раствора щелока H_2SO_4 до pH ~ 2. Осадок высушивали, измельчали, промывали до pH фильтрата ~ 4,5. Из полученного порошка готовили модельную систему путем растворения навески в 0,1н NaOH аналогично тому, как готовились модельные системы на основе товарного солоубальского лигнина [2]. Концентрация СЛ в модельной системе 100 мг/дм³.

В качестве алюмосодержащих компонентов и композиций на их основе были использованы нефелиновый концентрат (НФК), зола Светогорского ЦБК и $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Элементный состав образцов алюмосодержащих компонентов приведен в табл. 1.

Образцы НФК и золы подвергали кислотному вскрытию 5 %-м раствором H_2SO_4 . Наибольшая степень извлечения активных компонентов из систем достигается при соотношении сухой навески к растворителю 1:100. При более высоком массовом соотношении активных компонентов образцов в процессе хранения происходит гелеобразование [8].

Концентрации активных компонентов, которые переходили в рабочий раствор и являлись композицией ККФ, представлены в табл. 2.

Таблица 1

Элементный состав образцов НФК, золы и $Al_2(SO_4)_3$

Образец	Содержание элемента, %		
	Al	Si	Ca
Нефелиновый концентрат	6,14	30,7	0,33
Зола Светогорского ЦБК	6,24	16,3	15,2
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	9,1	–	–

Таблица 2

Концентрация активных компонентов в рабочих растворах

Образец	Концентрация, мг/дм ³	
	Al	Si
НФК + H_2SO_4	1650	1760
Зола + H_2SO_4	694	909

Известно, что гидролизованные формы алюминия обладают различной коагулирующей способностью по отношению к СЛ и механизмы взаимодействия этих компонентов в водных средах существенно зависят от рН системы и их концентраций [3, 7, 8]. Образование ОМС на основе СЛ и гидролизованных форм алюминия происходит в результате следующих механизмов: первый – нейтрализационный, который характерен для области рН, где доминируют положительно заряженные негидролизованные и гидролизованные формы алюминия; второй – гетерокоагуляционный механизм, активно работающий в области рН, где происходит формирование фазы $Al(OH)_3$ и взаимодействие дисперсий СЛ и $Al_2(SO_4)_3$ с образованием новой ОМС; третий – это процесс формирования координационных структур, который наиболее характерен для композиционных систем, содержащих как алюминий, так и кремний [1, 6]. Наиболее предпочтительной областью, где протекают эти три процесса, является диапазон рН от 4 до 6 (рис. 1). Эффективность участия компонентов системы в формировании ОМС оценивали по остаточной концентрации СЛ и алюминия в широком диапазоне рН и исходных концентраций алюмосодержащих композиций.

В качестве примера на рис. 1 представлена зависимость остаточных концентраций СЛ в фильтрате от рН при концентрации алюминия в системе $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

Формирование структуры со значительным включением СЛ в ОМС под влиянием $Al_2(SO_4)_3$ (кривая 1) наблюдается в области рН 2...6. При более высоких значениях рН, где доминируют отрицательно заряженные формы алюминия, как и следовало ожидать [6], эффективность образования структуры ОМС падает.

Формирование структуры ОМС в присутствии композиционных алюмосодержащих систем НФК и золы существенно изменяет ход зависимости. Формирование ОМС происходит практически во всем исследованном диапазоне рН, в том числе и в щелочной области, что не наблюдается

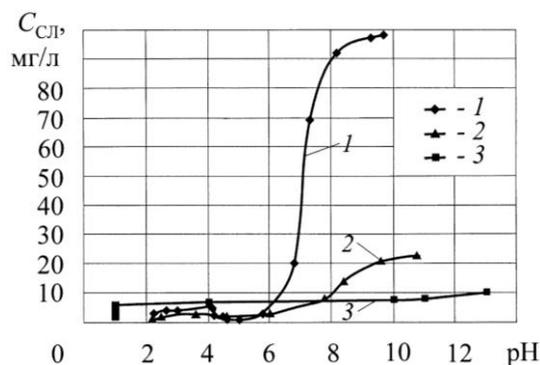


Рис. 1. Зависимость остаточных концентраций СЛ ($C_{сл}$) в растворе от рН при введении алюмосодержащих компонентов: 1 – $Al_2(SO_4)_3$, 2 – НФК, 3 – зола

для $Al_2(SO_4)_3$. Следует отметить особенность формирования структуры в случае присутствия золы, где эффективность использования СЛ в формировании структуры составляет 90 % практически во всем диапазоне рН. Это обстоятельство, вероятно, связано с тем, что в композиции имеется дополнительное содержание как кремния, так и кальция (см. табл. 1). Композиция на основе НФК способствует образованию структуры, однако эффективность использования лигнина в щелочной области меньше, чем для золы, о чем свидетельствует рост остаточных концентраций СЛ (кривая 2). В области $pH < 6$ формирование ОМС происходит аналогично $Al_2(SO_4)_3$, в области $pH \geq 6$ формирование структуры агрегатов органоминерального комплекса будет происходить с активным участием кремния. При регулировании рН осветленным раствором $Ca(OH)_2$ возможна адсорбция двухзарядных катионов Ca^{2+} и вхождение их в слой Штерна по мере роста степени диссоциации кислотных функциональных групп макромолекул СЛ, которая приводит к снижению поверхностного заряда и, таким образом, способствует дальнейшему взаимодействию модифицированных частиц СЛ с гидролизованной формами алюминия и кремния. При наличии кальция появляется возможность формирования ОМС на кальциевой основе. Реакционная способность алюминатов кальция по отношению к воде, а следовательно, и к гидратированным структурам будет возрастать по мере увеличения соотношения $Ca : Al$ в системе. Полученные ОМС по своим свойствам, по всей видимости, будут близки к седиментационным осадочным структурам естественного цикла.

ОМС, полученные при рН 6, были подготовлены и исследованы методом ИК-Фурье спектроскопии, который активно используется при изучении лигнина [5] (рис. 2).

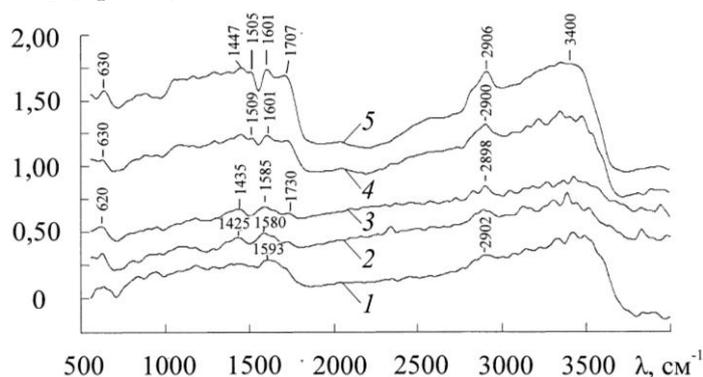


Рис. 2. ИК-Фурье спектры: 1 – композиция на основе $Al_2(SO_4)_3$, 2 – зола, 3 – НФК; 4 – сегежский СЛ (выделен в лабораторных условиях); 5 – соломбальский лигнин (товарный)*

* Авторы выражают благодарность за помощь в получении и расшифровке ИК-спектров лигнинов Д.А. Сухову и О.Ю. Деркачевой.

Интенсивности полос вблизи колебаний фенольного ядра для полученных ОМС несколько отличаются от данных для реперных лигнинов (кривые 4 и 5). Присутствие алюмо- и кремнийсодержащих элементов в структуре приводит к перераспределению интенсивности колебаний в этих спектрах (кривые 1–3). На ИК-Фурье спектрах ОМС на основе золы и НФК проявляются полосы поглощения при 1425 и 1580 см^{-1} , которые соответствуют колебаниям ароматического кольца. Эти полосы поглощения отличаются от полос, принятых в качестве внутренних стандартов (соответственно 1600 и 1510 см^{-1}) (кривые 1, 2), поскольку присутствующие в золе алюминий и кремний внедрились в структуру СЛ и образовали комплексы, которые дают более широкие полосы поглощения. Это относится и к ИК-Фурье спектру ОМС на основе СЛ и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, на котором имеется полоса поглощения 1593 см^{-1} (кривая 1).

Реологические свойства полученных структур определяли методом капиллярной вискозиметрии [4]. Для исследования использовали вискозиметр Уббелодде (радиус капилляра 0,081 см, длина капилляра 11,25 см). Динамическое напряжение сдвига Θ полученных ОМС существенно зависит от рН системы и концентрации алюмосодержащего компонента, который использовали для получения этих структур (рис. 3).

В присутствии $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ динамическое напряжение сдвига зависит от специфики формирования структуры, которая определяется рН системы и формой алюминия в ней. В области рН 2...4 отмечено увеличение прочности полученной структуры, обусловленное влиянием положительно заряженных негидролизованых и гидролизованых форм алюминия. Дальнейший рост рН способствует смене механизмов формирования ОМС и изменению реологических свойств полученных систем. Наиболее прочная ОМС в присутствии $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ формируется в результате гетерокоагуляционных процессов при рН ~ 6, как и было отмечено выше.

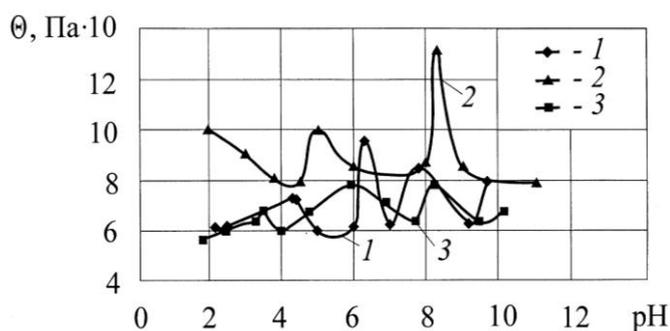


Рис. 3. Зависимости динамического напряжения сдвига от рН ОМС, полученных на основе СЛ и алюмосодержащих компонентов: 1 – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 2 – НФК, 3 – зола

ОМС на основе СЛ, полученные с помощью НФК, отличаются наиболее высокими реологическими свойствами, и для их разрушения требуется большее усилие. Зола позволяет сформировать структуру, которая обладает более стабильными реологическими свойствами во всем исследованном диапазоне рН. Следует отметить, что композиции с кремнием позволяют сформировать ОМС с более высокими прочностными характеристиками. Особо следует выделить область рН ~ 8, где возможно формировать наиболее компактные и прочные ОМС.

Таким образом, на основе представленных исследований можно сделать заключение, что получение ОМС существенно зависит от механизмов их формирования, которые в свою очередь зависят от вида и концентрации алюмосодержащего компонента, способа регулирования рН. Эти обстоятельства позволяют предполагать, что можно получать ОМС с заданными реологическими свойствами и использовать их в природных циклах для регулирования свойств деградированных почвенных структур, что будет новым направлением в использовании технических лигнинов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дягилева А.Б. Устойчивость и агрегация низкоконцентрированных водных дисперсий технических лигнинов, выделенных при переработке древесного сырья: дис. ... д-ра хим. наук. СПб., 2011. 379 с.
2. Дягилева А.Б., Чернобережский Ю.М. Коллоидно-химические аспекты очистки сточных вод от примесей лигнинов. Ч. 1 // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2009. № 8. С. 74–78.
3. Дягилева А.Б., Чернобережский Ю.М. Коллоидно-химические аспекты очистки сточных вод от примесей лигнинов. Ч. 2 // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2009. № 9. С. 62–64.
4. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / Григоров О.Н. [и др.]. Л.: Химия, 1964. С. 332.
5. Сухов Д.А., Деркачева О.Ю. ИК-спектры поглощения нативного и остаточных лигнинов, полученных в ходе сульфатных варок древесины сосны и ели различной продолжительности: матер. II междунар. конф. «Физикохимия лигнина» Архангельск. 2007. С. 172–174.
6. Чернобережский Ю.М., Лоренцон А.В., Дягилева А.Б. Коагуляция сульфатного лигнина сульфатом алюминия // Коллоид. журн. 2000. Т. 62, № 5. С. 707–710.
7. Чернобережский Ю.М., Дягилева А.Б. О возможном механизме очистки сточных вод от лигнина сульфатом алюминия // Коллоид. журн. 1993. Т. 55, № 6. С. 138–139.
8. Янчилин А.Б. Получение и свойства аморфного кремнезема при серно-кислотной обработке нефелинсодержащего сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 18 с.

Поступила 20.10.11

A.I. Smirnova, A.B. Diagileva

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

Obtaining Organic-Mineral Structure on the Basis of Technical Lignin and Alum-Containing Components

The mechanism of obtaining organic-mineral structure on the basis of technical lignin and alum-containing components depending on the conditions of their isolation is discussed.

Keywords: sulphate lignin, wastewater, heterophil systems, organic-mineral structure, rheological properties.

УДК 547.992.3:544.47

А.Л. Белоглазова, Н.Р. Попова, К.Г. Боголицын

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

Белоглазова Александра Леонидовна родилась в 1986 г., окончила в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 10 научных работ в области кинетики и катализа.
E-mail: a.beloglazova@narfu.ru



Попова Наталья Радиевна родилась в 1957 г., окончила в 1980 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, профессор кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 научных работ в области химии координационных соединений, кинетики и катализа, химии древесины.



ОКИСЛЕНИЕ ФЕРУЛОВОЙ КИСЛОТЫ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА ВАНАДОМОЛИБДОФОСФАТА НАТРИЯ*

Исследована спектрофотометрическим методом кинетика процесса каталитического окисления феруловой кислоты пероксидом водорода в кислой среде в присутствии ванадомолибдофосфата натрия. Изучено влияние рН раствора, концентрации окислителя, окисляемого вещества и катализатора на кинетику. Установлены оптимальные условия проведения процесса.

Ключевые слова: модельные соединения лигнина, феруловая кислота, окисление, пероксид водорода, катализ, ванадомолибдофосфат натрия.

Использование комплексных соединений металлов переменной валентности, в частности полиоксометаллатов (ПОМ), в качестве гомогенных катализаторов при делигнификации и отбелке целлюлозного волокна, а также при получении продуктов широкого спектра потребительских свойств из лигносодержащих материалов (продуктов окислительной деструкции лигнинов, энтерособрантов) представляет интерес благодаря их эффективности в условиях окисления экологически безопасными окислителями (кислород, пероксид водорода, озон). Согласно литературным данным [5], полиоксометаллаты интенсифицируют реакцию окисления лигнина, существенно не воздействуя на целлюлозное волокно.

* Работа выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК от 29.04.2011 г. № 16.552.11.7023) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-03-98808-р_север_а).

© Белоглазова А.Л., Попова Н.Р., Боголицын К.Г., 2011

Ранее нами было исследовано каталитическое окисление модельных соединений лигнина и лигнинных веществ молекулярным кислородом с использованием ванадомолибдофосфата натрия в качестве катализатора [1]. В качестве объекта исследования при изучении влияния природы окислителя на механизм каталитического окисления лигнинных веществ была выбрана феруловая кислота – модельное соединение структурного звена лигнина гваяцильного ряда, в качестве катализатора – полиоксометаллат состава $\text{Na}_8[\text{PMo}_7\text{V}_5\text{O}_{40}]$, в качестве окислителя – пероксид водорода.

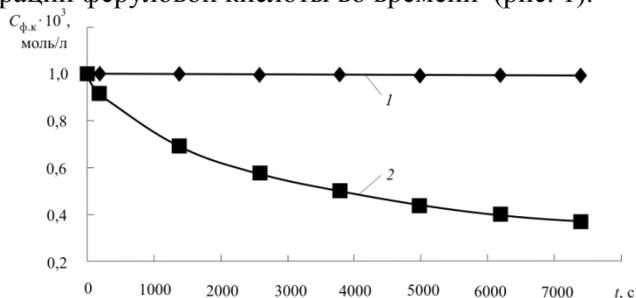
Для установления основных закономерностей и определения оптимальных условий проведения гомогенного каталитического окисления феруловой кислоты пероксидом водорода исследовано влияние pH раствора, концентрации окислителя, окисляемого вещества и катализатора на кинетику процесса.

Кинетику окисления изучали спектрофотометрическим методом на приборе UVVis Specord S300 «Analytic Yena». С этой целью измеряли оптическую плотность D раствора по характеристической полосе поглощения феруловой кислоты ($\lambda = 320$ нм) с интервалом 20 мин в течение 2 ч. За это время в большинстве экспериментов концентрация окисляемого вещества снижалась на 60 %.

Большинство кинетических измерений проводили в растворах, имеющих следующие концентрации: феруловая кислота – 1,0 ммоль/л, пероксид водорода – 0,5 ммоль/л, катализатор – 0,1 ммоль/л, при постоянном pH $3,00 \pm 0,02$, которое поддерживали соответствующим универсальным буферным раствором. Эксперименты проводили при постоянной температуре 333 К. Термостатирование растворов осуществляли в термостате УТ-3 с точностью $\pm 0,1$ К. В качестве кинетических параметров были выбраны начальная скорость и константа скорости реакции. Начальную скорость рассчитывали с помощью компьютерной программы Gurve Expert 1.3, дифференцируя зависимость концентрации феруловой кислоты от времени и рассчитывая скорость в момент времени $\tau = 0$. Константы скорости реакции определяли графически.

Предварительно проведенные эксперименты показали, что в отсутствие катализатора окисление феруловой кислоты пероксидом водорода не происходит. Напротив, в присутствии катализатора наблюдается значительное снижение концентрации феруловой кислоты во времени (рис. 1).

Рис. 1. Изменение концентрации феруловой кислоты в растворе в течение 2 ч (интервал 20 мин) (pH 3, $C_{\text{ф.к.}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $T = 333$ К): 1 – без катализатора; 2 – в присутствии катализатора $\text{Na}_8[\text{PMo}_7\text{V}_5\text{O}_{40}]$ ($C_{\text{Пом}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л)



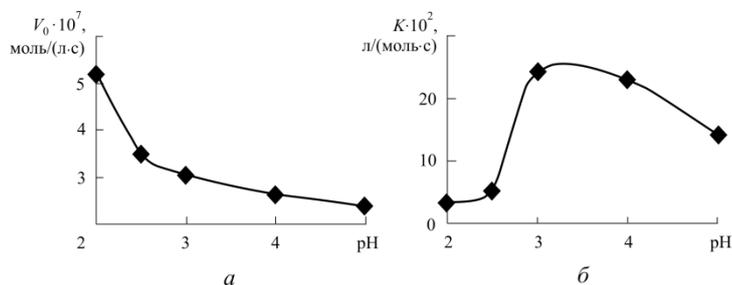


Рис. 2. Зависимость кинетических параметров процесса каталитического окисления феруловой кислоты пероксидом водорода от pH ($C_{\text{ф.к.}} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $C_{\text{ПОМ}} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $T = 333$ К):
a – начальная скорость, *б* – константа скорости

Необходимо отметить, что в зависимости от pH полиоксометаллаты в растворе находятся в разных формах и представляют собой сложную равновесную систему полианионов, обладающих различной каталитической активностью.

В связи с этим для установления оптимального значения pH при каталитическом окислении феруловой кислоты исследовано его влияние на кинетику процесса (рис. 2).

При $\text{pH} < 3$ происходит резкое увеличение начальной скорости реакции (рис. 2, *a*). Подобная зависимость наблюдалась нами ранее при окислении феруловой кислоты молекулярным кислородом [1], где было показано, что при pH 2 образующийся в результате деструктивной диссоциации ион VO_2^+ обладает более ярко выраженными окислительными свойствами по сравнению с гетерополианионом $[\text{PMo}_7\text{V}_5\text{O}_{40}]^{8-}$ и, следовательно, более активно катализирует окисление феруловой кислоты [1]. При $\text{pH} > 2$ процесс диссоциации происходит в меньшей степени, и в этом случае в качестве катализатора выступает гетерополианион $[\text{PMo}_7\text{V}_5\text{O}_{40}]^{8-}$.

В отличие от начальной скорости зависимость константы скорости реакции каталитического окисления феруловой кислоты пероксидом водорода от pH имеет экстремальный характер с максимумом при pH 3 (рис. 2, *б*). Различный характер зависимостей начальной скорости (рис. 2, *a*) и константы скорости реакции (рис. 2, *б*) от pH, как и в случае окисления молекулярным кислородом [1], указывает на то, что стадией, лимитирующей скорость исследуемого процесса, является не стадия взаимодействия окисляемого вещества с катализатором, а стадия реокисления катализатора. Снижение константы скорости реакции при $\text{pH} < 3$ и $\text{pH} > 4$ обусловлено осложнением регенерации каталитически активных частиц [1].

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что, как и в случае окисления молекулярным кислородом [1], при pH 3 наиболее оптимально реализуется процесс, включающий в себя взаимодействие катализатора с окисляемым веществом и его реокисление.

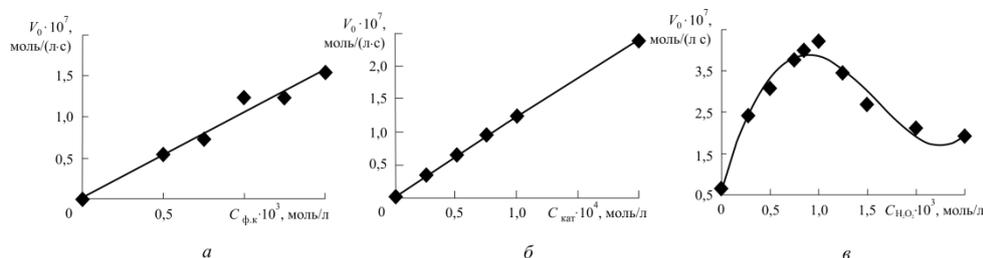


Рис. 3. Зависимость начальной скорости реакции каталитического окисления феруловой кислоты от концентрации окисляемого вещества (а), катализатора (б) и пероксида водорода (в) (рН 3; $C_{ПОМ} = 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $T = 333$ К): а, б – $C_{H_2O_2} = 1 \cdot 10^{-1}$ моль/л; в – $C_{ф.к} = 1 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Проведенные исследования влияния концентраций катализатора и феруловой кислоты на процесс ее окисления пероксидом водорода показали, что начальная скорость реакции прямо пропорциональна концентрации варьируемых компонентов (рис. 3, а, б).

Этот факт, а также данные, полученные при определении частных порядков реакции методом Вант-Гоффа, указывают на первый порядок по окисляемому веществу и катализатору.

Результаты исследования влияния концентрации пероксида водорода на кинетику процесса (рис. 3, в) показали, что зависимость начальной скорости реакции от концентрации H_2O_2 имеет экстремальный характер с максимумом, соответствующим соотношению концентраций катализатора и пероксида водорода 1:10.

Таким образом, в этих условиях возможно образование промежуточных пероксокомплексов, состоящих из гетерополианиона и молекул H_2O_2 , обладающих большей каталитической активностью, чем исходный гетерополианион. Это предположение подтверждается результатами работ [2–4], где показано, что соединения молибдена (VI) и вольфрама (VI) катализируют эпоксирирование олефинов за счет промежуточного образования пероксокомплексов [2].

В работе было [2] установлено, что при эпоксирировании аллилового спирта пероксидом водорода в присутствии фосфорновольфрамовой гетерополиокислоты (ГПК) также возможно образование устойчивых пероксокомплексов, обладающих большей каталитической активностью по сравнению с ГПК. При высоком содержании H_2O_2 ($[H_2O_2]/[ГПК] > 4$) по спектрам ЯМР ^{31}P наблюдаются комплексы с двумя, тремя и четырьмя пероксогруппами. Р.З. Пен с соавторами [3], изучая активность катализаторов окисления лигнина пероксидом водорода в процессах низкотемпературной окислительной делигнификации древесины в присутствии $Na_2MoO_4-Na_2WO_4-H_2SO_4$, также указывает на образование промежуточных пероксокомплексов.

Снижение начальной скорости каталитического окисления феруловой кислоты при увеличении соотношения $[H_2O_2]/[ПОМ] > 10$ (рис. 3, в)

обусловлено, вероятно, возникновением конкурирующих реакций, в частности, разложения не связанного в комплекс пероксида водорода. Аналогичные результаты были получены в работе [2], где снижение выхода продукта в реакции эпоксицирования аллилового спирта в присутствии ГПК при высоких соотношениях концентраций пероксида водорода и гетерополиоксислоты происходило из-за более интенсивного разложения присутствующего в растворе свободного H_2O_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каталитическое окисление феруловой кислоты с использованием в качестве катализаторов полиоксометаллатов / Т.В. Поварнищина [и др.] // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84, № 12. С. 2245–2249.
2. Кузнецова, Л.И., Максимовская, Р.И., Федотов М.А. Окисление аллилового спирта перекисью водорода в присутствии фосфорновольфрамовой гетерополиоксислоты // Изв. АН. Серия химическая. 1983. С. 537–542.
3. Пен Р.З., Бышев А.В., Шапиро И.Л. Низкотемпературная окислительная делигнификация древесины. Активность катализаторов окисления лигнина пероксидом водорода // Химия растительного сырья. 2001. №1. С. 43–48.
4. Пероксокомплексы фосфорно-вольфрамовой гетерополиоксислоты / Л.И. Кузнецова [и др.] // Изв. АН. Серия химическая. 1983. С. 733–737.
5. Физическая химия лигнина / К.Г. Боголицын [и др.]. М.: Академкнига, 2010. 492 с.

Поступила 20.10.11

A.L. Beloglazova, N.R. Popova, K.G. Bogolitsyn

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

Oxidation of Ferulic Acid by Hydrogen Peroxide using Sodium Vanadomolybdophosphate as a Catalyst

Using spectrophotometry kinetics of catalytic oxidation of ferullic acid by hydrogen peroxide in acidic medium in the presence of vanadomolybdophosphate as a catalyst has been investigated. Influence of the solution pH concentration of oxidized compound catalyst oxidant on kinetics has been studied to establish the main rules of the catalytic oxidation.

Keywords: model lignin compound, ferulic acid, oxidation, hydrogen peroxide, catalysis, sodium vanadomolybdophosphate.

УДК 676.017

А.С. Смолин, Р.О. Шабиев*

С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Смолин Александр Семенович окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 130 научных трудов в области изучения процессов бумажно-картонного производства, химии бумаги, использования вторичного волокна.
E-mail: smolin@gturp.spb.ru



Шабиев Руслан Олегович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант и ассистент кафедры технологии бумаги и картона СПб ГТУРП. Имеет 3 печатные работы в области химии и испытания бумаги, картона и целлюлозы.
E-mail: ncjob@yandex.ru



КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГИДРОСУСПЕНЗИЯХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Изучено влияние типа целлюлозы, времени размола, содержания карбоксильных групп, водоудерживающей способности, а также добавления синтетических и природных модифицированных полиэлектролитов на электрокинетический потенциал, катионную потребность и поверхностный доступный заряд. Наблюдаемые электрокинетические зависимости подтверждают основную роль гидроксильных групп целлюлозы и ориентации диполей воды в образовании и переносе электроотрицательного заряда.

Ключевые слова: гидросуспензия, растительные волокна, электроповерхностные явления.

Электроповерхностные свойства гидросуспензий растительных волокон характеризуются ζ -потенциалом, катионной потребностью и поверхностным доступным зарядом. Эти показатели являются одними из основных объектов изучения в химии бумаги [10]. В качестве первопричины возникновения термодинамического (поверхностного) потенциала целлюлозных волокон рассматривается диссоциация ионогенных групп кислотного характера [5] (в основном COOH-групп). Происхождение этих групп приписывают

* Авторы выражают благодарность Министерству образования РФ и немецкой службе академических обменов DAAD за финансовую поддержку.

©Смолин А.С., Шабиев Р.О., 2011

гемицеллюлозам [10], а также продуктам окисления гидроксильных групп самой целлюлозы во время процессов варки и отбелки. Целлюлозные волокна, несмотря на такое низкое содержание основных ионогенных групп, имеют достаточно высокий ζ -потенциал, более того, по абсолютной величине он увеличивается с ростом химической однородности волокнистого материала и достигает максимальных значений на диафрагмах, сформированных из хлопковых волокон [3].

Например, содержание COOH -групп в древесной целлюлозе, предназначенной для химической переработки, изменяется в пределах от 10 до 40 ммоль/кг, в хлопковом линтере – от 2 до 10 ммоль/кг. Эти данные получены алкалиметрическим титрованием при гетерогенных условиях целлюлозных волокон после их перевода в Н-состояние. Несмотря на то, что титрование проходило в гетерогенных условиях, можно, опираясь на результаты титрования целлюлозы при гомогенных условиях, с уверенностью сказать, что в гетерогенной среде доступны более 85 %, а в некоторых случаях и все 100 % COOH -групп от их общего содержания (табл. 1).

Исходя из общих представлений об электроповерхностных явлениях и учитывая гидратацию, структуру двойного электрического слоя (ДЭС) растительных волокон можно представить следующим образом (рис. 1).

Представители коллоидной химии приписывают происхождение ζ -потенциала на целлюлозных волокнах наличию тех или иных химически активных групп, но оперируют прежде всего гидроксильными [1]. Считается [2, 3], что необходимое распределение электронной плотности на немодифицированной поверхности целлюлозы обеспечивается за счет их высокого дипольного момента (табл. 2), создающего условия для ориентации дипольных молекул воды на поверхности целлюлозы таким образом, что отрицательно заряженные концы диполей будут направлены в раствор. Это позволяет объяснить уменьшение ζ -потенциала при слабом окислении целлюлозы.

Таблица 1

Сравнение различных методов определения COOH -групп в целлюлозе [8]

Образец	Содержание COOH -групп, ммоль /кг		
	Сорбция метиленового голубого	Алкалиметрическое титрование в среде	
		гетерогенной	гомогенной
Линтер	6,8	4,5	–
Предгидролизная СФА целлюлоза	17,4	14,5	–
Сульфитная целлюлоза из бука	27,0	27,0	–
Целлюлоза/ $\text{NaIO}_4/\text{NaOCl}$	–	222	290

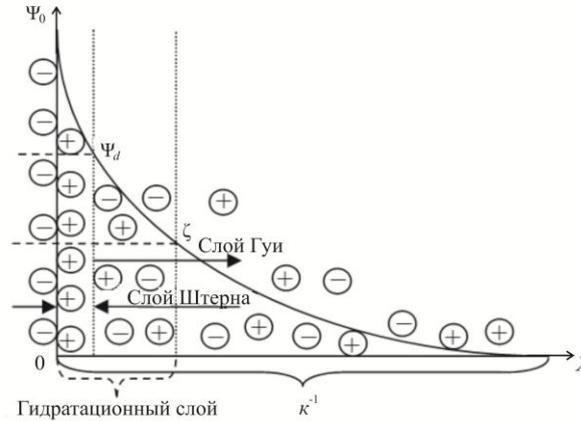


Рис. 1. Классическое представление структуры ДЭС целлюлозы

Таблица 2

Величина и знак дипольных моментов μ некоторых активных групп целлюлозы [2]

Заместитель	$\mu \cdot 10^{18}$	Заместитель	$\mu \cdot 10^{18}$
-ОН	-1,7	-ОСН ₃	-1,0
-COOСН ₃	-1,8	-COOH	-0,9
-NO ₂	-3,8	-СН ₃	-0,4
-СОН	-2,8	-NH ₂	+1,5

Электрокинетический потенциал целлюлозных гидросуспензий можно определить микроэлектрофорезом [6], потенциалом протекания или электроосмосом [7], электроакустически (эффект Дебая), лазерными методами, основанными на эффекте Доплера [6]. Однако наиболее точные измерения ζ -потенциала целлюлозы выполняются на ее диафрагмах [7], даже несмотря на то, что получаемое его значение является средним для всех компонентов полидисперсной системы. В целом суммарный электрокинетический заряд бумажной массы традиционно разделяют на две части: заряд твердой, или дисперсной фазы, т.е. непосредственно ζ -потенциал целлюлозного волокна и целлюлозных фрагментов, и заряд дисперсионной среды, или растворенных компонентов, который обозначают термином «катионная потребность» [10] и определяют методами коллоидного титрования. Этими же методами можно определить доступный поверхностный заряд целлюлозных волокон.

При обсуждении электроповерхностных свойств гидросуспензий растительных волокон следует учитывать взаимосвязь ζ -потенциала и удельной поверхности. Анализ литературных данных (табл. 3) показывает, что в ряде случаев меньшая поверхность соответствует большему значению ζ -потенциала. Однако экспериментально установлено, что для его снижения требуется меньшее количество катионных реагентов.

Таблица 3

Определение удельной поверхности различных образцов целлюлозы сорбцией водяных паров [9]

Образец	T , °С	W_m^* , г/г	Относительное давление водяных паров при W_m , г/г	Удельная поверхность, м ² /г
Хлопковый линтер	20	0,0318	0,22	157
МКЦ из хлопка	21	0,0273	0,21	135
Мерсеризованный хлопок	21	0,0456	0,21	226
Аморфная целлюлоза	21	0,0875	0,19	434

* W_m – масса воды по отношению к массе образца целлюлозы при формировании мономолекулярного слоя.

Экспериментальная часть

Цель наших исследований – изучение влияния вида волокнистого материала, его происхождения, времени набухания, размола, фракционирования, окисления и дозировки реагентов, снижающих проявление электрокинетических явлений, на ζ -потенциал, адсорбцию катионных полиэлектролитов разной молекулярной массы и общее содержание ионногенных СООН-групп.

Волокнистый материал размалывали в лабораторном ролле Валлей и мельнице Йокро (ЦРА), в ряде случаев массу фракционировали на классификаторе Бауера–Макнетта для исключения влияния волокнистой мелочи. Процесс размола контролировали по изменению степени помола, морфологических характеристик и водоудержания (WRV). Содержание СООН-групп определяли параллельно несколькими методами. Измерения ζ -потенциала проводили методом потенциала протекания на приборе типа Magendans. Поверхностную проводимость компенсировали созданием высокой общей электропроводности. Поверхностный доступный заряд оценивали адсорбцией катионных полиэлектролитов. Точку изоэлектрического состояния при коллоидном титровании определяли по изменению потенциала протекания на установке типа SCD или методом индикаторного титрования.

В качестве объектов исследования использовали товарные продукты и/или отобранные из производственной линии линтер, сульфатную беленую листовую (ЦСФАЛ) и хвойную (ЦСФАХБ ЕСФ и ЦСФАХБ ТСФ) целлюлозу, сульфатную небеленую хвойную целлюлозу (ЦСФАХ), сульфитную хвойную беленую (ЦСФИБ) и небеленую (ЦСФИ) целлюлозу, различные виды беленых и небеленых механических масс (ДДМ, БДДМ, ТММ, БТММ, ХТММ, БХТММ).

Результаты и их обсуждение

Влияние проводимости на ζ -потенциал. В ходе экспериментов установлено, что с увеличением проводимости и плотности диафрагмы ζ -потенциал линтера снижается (табл. 4).

Таблица 4

Влияние плотности диафрагмы ρ и проводимости X на ζ -потенциал линтера (фракция 100 меш)

ρ , г/см ³	X , мСм/см	ζ , мВ
0,2	1,15	-24,4
0,2	2,27	-23,5
<0,2	1,15	-41,1
<0,2	2,34	-37,4

Таблица 5

Влияние вида целлюлозного полуфабриката на ζ -потенциал ($\rho < 0,2$ г/см³)

Целлюлозный полуфабрикат	$-\zeta$, мВ	X , мСм/см	Целлюлозный полуфабрикат	$-\zeta$, мВ	X , мСм/см
Линтер	99,7	0,22	БХТММ	44,8	0,23
МКЦ	64,5	0,29	ХТММ	43,7	0,19
ЦСФИБ	53,5	0,20	БТММ	43,6	0,26
ЦСФИ	50,4	0,23	ТММ	42,5	0,22
ЦСФАЛ	47,6	0,21	БДДМ	34,9	0,19
ЦСФАХБ	45,5	0,15	ДДМ	26,7	0,21
ЦСФАХ	45,4	0,19			

Влияние вида целлюлозных волокон на ζ -потенциал. Приведенные в табл. 5 данные совпадают с литературными [4]. Очевидно, что ζ -потенциал убывает в зависимости от чистоты волокнистого полуфабриката, сушки и времени хранения. Для сравнения приведены значения ζ -потенциала для микрокристаллической целлюлозы (МКЦ).

Влияние концентрации растительных волокон на катионную потребность их фильтратов.

Полученные экспериментальные данные (табл. 6) демонстрируют, что степень загрязнения, характер и количество анионных загрязняющих веществ зависит от вида волокнистого полуфабриката, отбели, способа получения и концентрации волокна.

Оценка содержания карбоксильных групп. Известно, что основными источниками СООН-групп в древесной целлюлозе выступают глюкуроновые и галактуроновые кислоты, несравнимо меньше ионногенных кислотных групп с относительно низкой K_d приходится на окисленный лигнин. Отбелка сульфатной целлюлозы с хлором (ECF) в большей степени снижает содержание СООН-групп, чем бесхлорный способ (TCF). Из полученных данных (табл. 7) следует, что метод определения содержания СООН-групп следует выбирать в зависимости от вида волокон образца. Например, алкалиметрический метод не подходит для анализа полуфабрикатов высокого выхода.

Таблица 6

**Влияние концентрации растительных волокон полуфабриката
на катионную потребность их фильтратов**

Целлюлозный полуфабрикат	Катионная потребность при концентрации массы, г/дм ³				
	0,5	2,0	5,0	10,0	40,0
ЦСФАХБ	–	3,9	1,5	0,9	–
ЦСФАЛ	–	3,9	2,3	1,7	–
ЦСФАХ	–	6,7	5,9	4,7	–
ХТММ	–	8,7	5,7	4,8	–
ДДМ	–	11,7	10,3	10,1	–
БДДМ	–	25,9	25,9	24,8	–
Фильтрат регистровой воды	121	–	–	–	–
Фильтрат из машинного бассейна	–	–	–	–	2,3
Макулатура МС5Б	–	–	–	12,5	–

Таблица 7

Влияние метода определения СООН-групп в волокнистых образцах

Целлюлозный полуфабрикат	Содержание СООН-групп в образцах, ммоль/кг		
	Гидрокарбонатный метод	Колориметрический метод	
		последовательным разбавлением	центрифугированием
ЦСФАЛ	29,4	39,7	–
Окисл. ЦСФАЛ	–	–	48,5
ЦСФАХБ ТСФ	23,3	28,8	28,3
ЦСФАХБ ЕСФ	16,9	19,2	26,6
Линтер	6,5	5,9	4,7
Окисленный линтер	–	–	13,0
БХТММ	38,3	93,3	97,9

Влияние вида целлюлозных волокон на водоудерживающую способность (WRV). Водоудерживающая способность является косвенным показателем удельной поверхности целлюлозных полуфабрикатов. Полученные результаты (табл. 8) показывают, что хлопковая целлюлоза имеет значительно меньшую WRV по сравнению с древесной, а ее окисление приводит к повышению этого показателя. Водоудерживающая способность лиственной целлюлозы больше, чем у хвойной. Увеличение средней длины волокна (100 меш > 50 меш) в результате фракционирования вызывает снижение этого показателя.

Таблица 8

Влияние вида целлюлозных волокон на их водоудерживающую способность

Целлюлозный полуфабрикат	WRV, %	Целлюлозный полуфабрикат	WRV, %
Окисленная ЦСФАЛ (100 меш)	94	ЦСФАХБ ТCF	86
ЦСФАЛ (100 МЕШ)	93	ЦСФАХБ ЕСF	84
Окисленная ЦСФАЛ (50 меш)	92	Окисленный линтер	65
ЦСФАЛ (50 МЕШ)	90	Линтер	64

Таблица 9

Заряд внешних и внутренних слоев целлюлозы, обработанной 6,3-иононом и ПДАДМАХ ($C_{6,3\text{-ионен}} = 100$ мг/л, $C_{\text{ПДАДМАХ}} = 156$ мг/л, масса целлюлозы 2 г, рН 7)

Целлюлозный полуфабрикат	Заряд волокна, ммоль/кг	
	6,3-ионен	ПДАДМАХ
ЦСФАЛ	2,84	1,86
ЦСФАХБ ТCF	2,84	0
ЦСФАХБ ЕСF	2,84	0
Окисленный линтер	1,48	0
Линтер	1,41	0

Влияние вида целлюлозных волокон на доступный поверхностный заряд. Из данных табл. 9 видно, что катионный полиэлектролит средней молекулярной массы (ПДАДМАХ – 107 000 г/моль) не адсорбируется на поверхности линтера, но адсорбируется на поверхности ЦСФАЛ. Катионный полиэлектролит с низкой молекулярной массой (6,3-ионен – 9 000 г/моль) адсорбируется на обоих образцах целлюлозы, причем в большем количестве, чем ПДАДМАХ. Такое поведение 6,3-ионена можно объяснить свободным перемещением его макромолекул во внутренние слои целлюлозных микрофибрилл. При этом, чем выше содержание СООН-групп и водоудерживающая (а значит и удельная поверхность), тем больше и адсорбция полиэлектролита. Окисление линтера повышает поверхностный доступный заряд, что, по-видимому, связано с увеличением содержания СООН-групп и WRV.

Влияние времени размолла на электрокинетический потенциал. Полученные экспериментально данные (рис. 2) показывают, что в начале размолла нефракционированной целлюлозы ζ -потенциал все время снижается, а потом незначительно повышается при продолжительном времени воздействия. Для образца фракционированной целлюлозы ситуация несколько отличается: ζ -потенциал фракции 30 меш ЦСФАХБ на всем протяжении процесса размолла снижается, а у фракции 50 меш ЦСФАХБ он ведет себя аналогично нефракционированной массе. По-видимому, такая зависимость исключительно связана с размерами частиц.

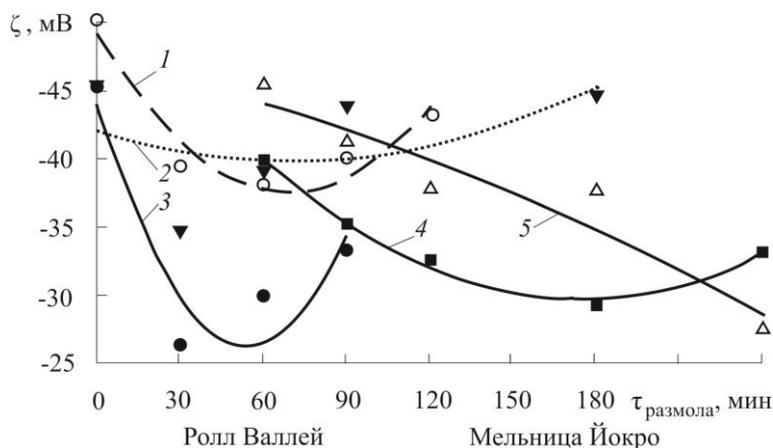


Рис. 2. Общая зависимость ζ -потенциала при продолжительном времени размола целлюлозы в ролле Валлей и мельнице Йокро (степень помола >90 °ШР, $X = 0,15 \dots 0,35$ мСм/см, $\rho < 0,2$ г/см³): 1 – ЦСФАХБ; 2 – ЦСФАЛ; 3 – ЦСФАХ; 4 – ЦСФАХБ (50 меш); 5 – ЦСФАХБ (30 меш)

Влияние синтетических полиэлектролитов на электрокинетический потенциал. Как видно из табл. 10, катионный полиакриламид обладает слабым коагулирующим действием, добавление которого все время вызывает снижение ζ -потенциала целлюлозы вплоть до ее перезарядки.

Влияние дозировок химических вспомогательных веществ и цикла переработки на катионную потребность лабораторной бумажной массы. После приготовления массы из смеси ЦСФАХ и ХТММ в нее последовательно вводили уловитель анионных загрязнений – полиоксихлорид алюминия (ПОХА), среднезамещенный катионный крахмал и дисперсию АКД, а перед самым изготовлением отливок – анионный полиакриламид. Принятые дозировки примерно соответствовали расходам аналогичных химических вспомогательных агентов в промышленном производстве картона. Полученные отливки склеивали кукурузным гофроклеем на плитке при температуре 150 °С, снова дезинтегрировали и цикл повторяли. Во всех точках дозирования химикатов и получения волокнистой массы из склеенных отливок определяли катионную потребность. Данные рис. 3 показывают, что катионные реагенты при каждой последующей дозировке только снижают катионную потребность, которая в свою очередь возрастает при переработке массы.

Таблица 10

Влияние дозировки (расхода P) низкозамещенного катионного полиакриламида (К-ПАА) на ζ -потенциал ЦСФАЛ ($X = 0,215$ мСм/см)

ζ , мВ	-47,6	-42,6	-40,7	-35,5	-32,9	-32,7	-24,4	-19,3	-15,0	-11,3	-6,6	-1,3	+2,3
$P \cdot 10^{-3}$, мг/г	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

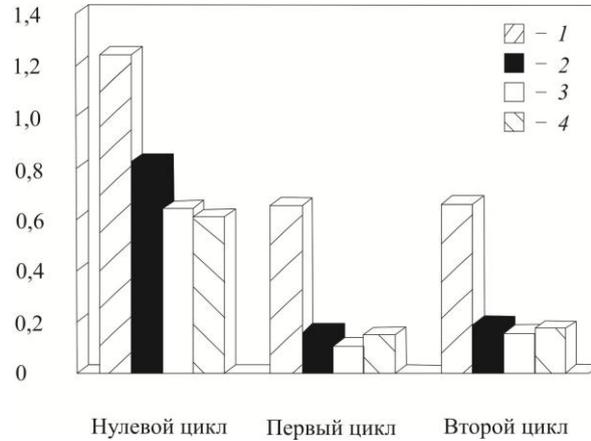


Рис. 3. Влияние дозировки химикатов и цикла переработки на катионную потребность (мкмоль/дм³) бумажной массы при производстве картона в лабораторных условиях: 1 – ЦСФАХ/ХТММ; 2 – ЦСФАХ/ХТММ+ПОХА; 3 – (ЦСФАХ/ХТММ+ПОХА) + (КК+АКД); 4 – (СФАЦХ/ХТММ+ПОХА+КК+АКД) + ПАА

Влияние катионного крахмала на электрокинетический потенциал. Как следует из рис. 4, при добавлении низкозамещенного катионного крахмала вначале происходит снижение, а затем незначительное повышение ζ -потенциала. Подобная тенденция наблюдалась и с другими видами целлюлозы. Стоит обратить внимание, что йодный тест показал полную адсорбцию крахмала данного типа во всем исследуемом диапазоне дозировки.

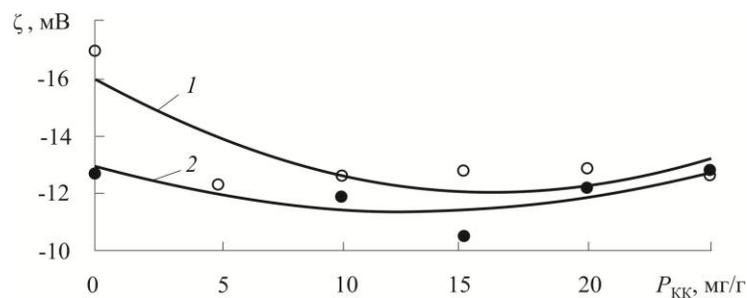


Рис. 4. Влияние дозировки (расхода P) низкозамещенного катионного крахмала (КК) на ζ -потенциал линтера в зависимости от времени размола в мельнице Йокро (ЦРА) и плотности ρ диафрагмы ($X = 2,2$ мСм/см; фракция 200 меш): 1 – 200 мин размола, $\rho < 0,2$ г/см³; 2 – 300 мин размола, $\rho = 0,2$ г/см³

Выводы

Полученные нами экспериментальные результаты ставят под сомнение прямую связь диссоциации ионногенных групп целлюлозы с наблюдаемыми электроповерхностными явлениями ее гидросуспензий. Нами выдвинута гипотеза, что присутствие гидроксильных групп и ориентация диполей воды играют основную роль в образовании электроотрицательного заряда, а перенос заряда, связанный с образованием ДЭС, по-видимому, обусловлен либо ионами гидроксония, либо гидратированными катионами металлов. Возможное строение ДЭС на немодифицированной поверхности целлюлозы представлено авторами ранее [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние размола и фракционирования на электроповерхностные свойства целлюлозных гидросуспензий / М. Бисальски, А.С. Смолин, С. Шабель, Р.О. Шабиев // Химия растительного сырья. 2011. №3. С.183–192.
2. Григоров О.Н. Электрокинетические явления. ЛГУ, 1973. С. 199.
3. О природе электрокинетического потенциала целлюлозы / Г.З. Аксельрод [и др.] // Сб. тр. ВНИИБ. 1973. № 65. С. 69–77.
4. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.;Л.: АН СССР, 1962. С. 708.
5. Юрьев В.И. О поверхностном (термодинамическом) потенциале целлюлозных волокон // Химическая и механическая переработка древесины и древесных отходов: межвуз. сб. науч. тр. 1980. С. 44–46.
6. Gess J.M. Retention of fines and fillers during papermaking / J.M. Gess (ed.) // TAPPI Press. 1998. P. 357.
7. Jacobasch H.J. Bauböck G., Schurz J. Problems and results of zeta-potential measurement on fibers // J. Colloid Polym. Sci. 1985. N. 263. P. 3–24.
8. Klemm D. Philipp B., Heinze T. Comprehensive cellulose chemistry // Fundamentals and Analytical Methods. 2004. Vol. 1. P. 175–176.
9. Krässig, H.A. Cellulose structure, accessibility and reactivity // Gordon and Breach Science Publishers. 1993. P. 376.
10. Neimo L. Papermaking Science and Technology. Book 4 // Papermaking chemistry / L. Neimo (Book editor), J. Gullichsen & H. Paulapuro (Series editors). 1999. Jyväskylä: Fapet Oy.

Поступила 20.10.11

A.S. Smolin, R.O. Shabiev

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

The Complex Study of Electrosurface Phenomena of Plant Fibers Hydrosuspensions

The influence of pulp type, refining speed, the carboxyl groups content, WRV, the dosage of synthetic and natural polyelectrolytes on the electrokinetic potential, cationic demand and the surface available charge are revealed. The observed electrokinetic relationships confirm the main role of hydroxyl groups and water dipoles for the formation and carrying out the negative electric charge.

Keywords: hydrosuspension, plant fibers, electrosurface phenomena.

УДК 661.183.2

М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Ю.А. Саврасова

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

Белецкая Марина Геннадьевна родилась в 1989 г., окончила Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры лесохимических производств САФУ имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов.
E-mail: chemistik89@mail.ru



Кузнецова Лидия Николаевна родилась в 1953 г., окончила в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 130 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.



E-mail: lesochim@agtu.ru

Саврасова Юлия Александровна родилась в 1987 г., окончила Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 6 печатных работ в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов.
E-mail: yulia925@mail.ru



МЕТОДЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ В СИНТЕЗЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНИНОВ

Показана возможность получения углеродных адсорбентов методом термохимической активации с гидроксидом натрия из гидролизного лигнина. Приведено сравнение адсорбционных свойств и выхода для исходного лигнина и лигнина вибропомола.

Ключевые слова: адсорбент, активный уголь, термохимическая активация, пиролиз.

Пористые углеродные материалы (адсорбенты) человечество использует на протяжении многих столетий. Широкое применение активного угля (АУ) продиктовано доступностью сырья для его производства, относительно невысокой стоимостью, низким расходом, универсальностью, позволяющей получать АУ для любого адсорбционного процесса, возможностью многократной регенерации без заметного ухудшения свойств.

Мировой опыт свидетельствует, что производство и потребление активных углей имеет устойчивую тенденцию к росту. Наряду с традиционными потребителями активных углей (пищевая и фармацевтическая про-

мышленность, рекуперация паров органических растворителей, приготовление катализаторов и др.), существуют другие крупнотоннажные потребители (водоподготовка и очистка сточных вод, флотация руд, медицина, электроника).

Огромный ассортимент адсорбентов можно получать на основе крупнотоннажных отходов химической и механической переработки древесины (опилки, кора, отходы лесозаготовок, осадки сточных вод, технические лигносульфонаты, черные щелока) [1].

Многотоннажным отходом лесохимического производства является лигнин, поэтому большое внимание уделяется его использованию для переработки в активный уголь. В статье [2] дан анализ процессов пиролиза технических лигнинов (лигнинов в составе щелоков, гидролизного лигнина и шлам-лигнина) в целях получения адсорбентов с регенерацией химикатов. Обсуждение многочисленных литературных источников позволило сделать вывод, что пиролиз технических лигнинов является альтернативой другим методам переработки, если он преследует получение сорбентов с одновременной регенерацией химикатов и выработкой тепловой энергии [2].

Из методов активации исходных углеродсодержащих продуктов находят применение парогазовые и химические. В настоящее время методы химической активации наиболее распространены. Это объясняется тем, что они позволяют получать адсорбенты со строго заданными параметрами пористой структуры и высокими кинетическими показателями адсорбционных процессов. К преимуществам способа следует отнести сравнительно короткое время активирования исходных материалов, большой выход углеродного остатка, хорошие адсорбционные свойства активного угля.

Среди недостатков необходимо отметить значение тщательной очистки углей от активирующих химических агентов. При этом химически активированные угли нередко содержат повышенное количество золы. Другим недостатком является необходимость регенерации химических реагентов, что повышает стоимость всего процесса производства углей.

В качестве активирующих агентов в основном используют кислоты (например, H_3PO_4 , HCl , H_2SO_4 и др.), щелочи ($NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$ и т.п.) и соли (K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaCO_3$, KCl , $ZnCl_2$ и пр.). В зависимости от вида активирующего агента результаты химического активирования могут различаться [3]. Некоторые химические вещества оказывают дегидратирующее действие (роданид калия, серная кислота, ортофосфорная кислота) и вызывают образование угля при весьма низкой температуре, причем выделяющийся углерод характеризуется наибольшей активностью. К таким веществам следует отнести и гидроксид натрия, использование которого ограничивается, в первую очередь, высоким расходом на активацию и сложностью регенерации из отработанных промывных растворов. Именно $NaOH$ был использован в качестве активирующего агента в данной работе.

Следует отметить, что попытки использовать щелочные методы для активации имели место неоднократно. При выходе за пределы используемых

ранее дозировок активатора (100...150 %) были получены непредсказуемые результаты. Особенно это касается активации гидролизного лигнина Архангельского гидролизного завода (АГЗ). Для исследований использовали исходный лигнин и лигнин, подвергшийся вибропомолу.

Вибропомол использовали с целью улучшить контакт частиц материала с активирующим агентом. Для этого готовили суспензию лигнина в 42 %-ом растворе гидроксида натрия. Полученную массу упаривали и высушивали в сушильном шкафу при температуре 103 °С, а затем подвергали термообработке при 500, 550, 600 °С. Анализ экспериментальных данных показал, что лишь при дозировке щелочи 300 % к абс. сухому лигнину формируется пористая структура, позволяющая адсорбировать йод, метиленовый голубой и гептан в количествах, значительно превышающих таковую для промышленно выпускаемых порошкообразных активных углей. Кроме того, был проведен сравнительный эксперимент химической активации с каустиком лигнина вибропомола и лигнина исходного без измельчения. В последнем случае лигнин был расфракционирован по размеру частиц на 5 фракций, мм: 0...1, 1...2, 2...3, 3...5, > 5. Следует отметить, что из всех фракций получен адсорбент с одинаковым выходом и свойствами. В таблице представлены сравнительные данные активных углей из лигнина вибропомола и лигнина исходного нефракционированного. При этом доза гидроксида натрия составляла 300 %, температура термообработки 600 °С.

Как следует из таблицы, влияние измельчения сказывается на выходе угля, но не отражается на сорбционных свойствах. Причем выход снижается весьма ощутимо при отсутствии измельчения. Вместе с тем, исключение необходимости использовать стадию вибропомола лигнина при практической реализации процесса делает его более предпочтительным.

Химическую активацию исходного лигнина АГЗ в присутствии щелочи проводили в режиме термообработки без предварительного удаления влаги, т.е. лигнин, обработанный водным раствором гидроксида натрия, сразу помещали в зону высоких температур. Изучали влияние температуры и продолжительности термообработки реакционной массы, а также дозировки щелочи на выход и свойства АУ в новых условиях. Полученные экспериментальные данные обработаны графически и представлены на рис. 1–3.

Влияние измельчения лигнина на выход и свойства активного угля

Лигнин	Выход отмытого угля, %	Сорбция	
		йода, %	метиленового голубого (МГ), мг/г
После вибропомола	38,4	126,6	584,0
Исходный	26,2	123,9	594,2

Рис. 1. Влияние температуры (1) и продолжительности (2) термообработки на выход отмытого угля

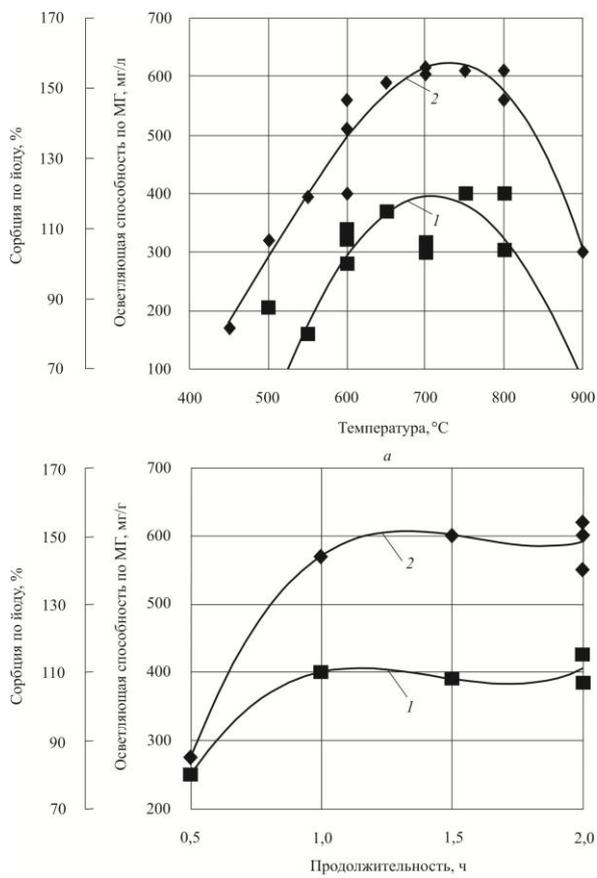
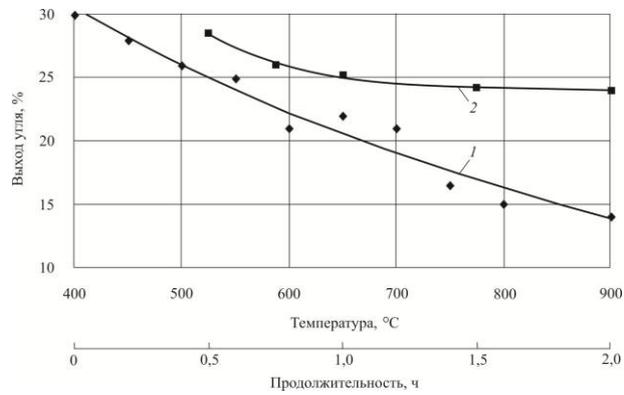
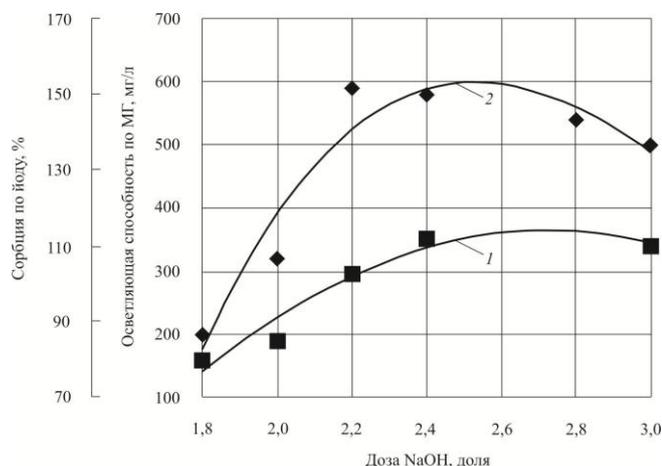


Рис. 2. Влияние температуры (а) (продолжительность 1 ч) и продолжительности (б) термообработки на сорбционные свойства угля: 1 – сорбция по йоду, 2 – осветляющая способность по МГ

Рис. 3. Влияние дозировки гидроксида натрия на выход и свойства отмытого угля (см. обозначения на рис. 2)



Анализ рис. 1 позволил установить условия термообработки исходного гидролизного лигнина в присутствии каустика: дозировка гидроксида натрия к абс. сухому лигнину – 240 %; температура термообработки реакционной массы – 600 °С; продолжительность термообработки после отгонки влаги – 1 ч.

Повышение температуры термообработки до 700 °С приводит к дальнейшему росту сорбционных свойств (осветляющая способность по МГ; сорбция по йоду) активного угля (рис. 2), однако при этом снижается его выход и существенно осложняется подбор химически стойкого материала для реактора. Снижение дозировки каустика до 220 % несколько ухудшает сорбционные свойства по йоду, а значит, и соответствующее развитие микропористой структуры, а также сдвигает процесс в область неустойчивого регулирования: небольшое дальнейшее снижение дозировки каустика резко ухудшает сорбционные свойства угля.

В результате исследования и последующих расчетов, проведенных на основе полученных экспериментальных данных, установлено, что технология производства углеродных адсорбентов из гидролизного лигнина путем его термообработки в присутствии большого избытка гидроксида натрия является вполне реальной и целесообразной. Был осуществлен подбор оптимальных режимных параметров для получения адсорбентов с достаточно высокими показателями адсорбции по йоду и осветляющей способностью по МГ, значение которых существенно превышает показатели промышленно выпускаемых АУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И., Черноусов Ю.И. Сорбенты для очистки сточных вод ЦБП на основе отходов переработки древесины // Целлюлоза, бумага, картон: обзор. информ. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1989. Вып. 5. 44 с.

2. *Богданович Н.И.* Пиролиз технических лигнинов // Лесн. журн. 1998. № 2-3. С. 125–132. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Кинле Х., Бадеп Э.* Активные угли и их промышленное применение / пер. с нем. Л.: Химия, 1984. 216 с.

Поступила 20.10.11

M.G. Beletskaya, N.I. Bogdanovich, L.N. Kuznetsova, Y.A. Savrasova

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

Method of Thermochemical Activation in the Process of Activated Carbon Synthesis from Technical Lignin

The possibility of obtaining carbon adsorbents by employing the method of thermochemical activation with sodium hydroxide from the hydrolytic lignin is shown. The comparison of adsorption properties of and yield for the source and ground lignin is given.

Keywords: adsorbent, activated carbon, thermochemical activation, pyrolysis.

УДК 543.427.4

Е.М. Кашина, А.В. Малков, К.Г. Боголицын

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

Кашина Евгения Михайловна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.
E-mail: e-kashina@mail.ru



Малков Алексей Валерьевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 12 научных работ в области электрохимии и химии древесины.
Тел.: 8(8182)21-89-48



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДРЕВЕСИНЕ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ*

Проведен первый этап разработки методики определения элементного состава древесины методом рентгенофлуоресцентного анализа. Определены концентрации С, О, Na, Mg, Si, K, Ca, S, Cl, P, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn. Изучено влияние условий пробоподготовки (размер фракции, усилие при изготовлении таблетки прессованием, толщина таблетки). Подобраны необходимые условия измерения.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ (РФА), элементный состав, тяжелые металлы, лиственная древесина.

В настоящее время существует потребность определения содержания тяжелых металлов в образцах растительного сырья. Такая информация представляет интерес как для экологического мониторинга лесов [2], так и для целлюлозно-бумажной промышленности [3].

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) – один из современных спектроскопических методов исследования, позволяющий определять содержание в образце элементов от бериллия до урана. РФА является неразрушающим и позволяет анализировать образцы различного вида (сплошные твердые, порошки, жидкости). К достоинствам данного метода относятся возможность одновременного определения большого числа элементов и отсутствие необходимости предварительного разложения пробы. Последнее

* Работа выполнена в центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК от 29.04.2011 г. № 16.552.11.7023) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-03-98808-р_север_a).

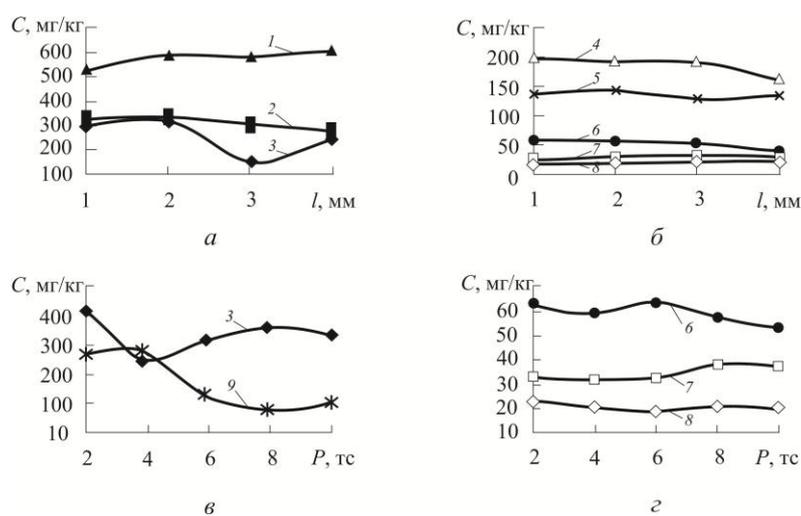
©Кашина Е.М., Малков А.В., Боголицын К.Г., 2011

особенно важно для анализа растительного сырья, минерализация которого длительна и трудоемка. Недостатки метода – невысокая чувствительность и зависимость результатов от качества поверхности образца и присутствия других элементов (матричные эффекты). Однако литературные данные показывают, что погрешность результатов РФА не превышает допустимых значений, т.е. этот метод можно применять несмотря на невысокую чувствительность.

Цель данного исследования – разработка методики определения элементного состава древесины методом рентгенофлуоресцентного анализа. На данном этапе работы определены необходимые требования к пробоподготовке и выявлены условия, при которых выполняются измерения.

В качестве объекта исследования была выбрана древесина березы. Эксперимент проводили на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-800HS фирмы «Shimadzu» (Япония).

Первоначально выполнялся полуколичественный анализ, в ходе которого были обнаружены следующие элементы: С, О, Na, Mg, Si, К, Са, S, Cl, P, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn. Для получения количественных данных обычно используют метод градуировочного графика, но для растительных материалов приготовление стандартных образцов с известным содержанием определяемых элементов представляет существенные трудности. Поэтому перечисленные выше элементы определяли количественно методом фундаментальных параметров. Все эксперименты проводили при следующих условиях: атмосфера – вакуум, экспозиция – 100 с, ускоряющее напряжение для Mn, Fe, Ni, Cu, Zn – 50 кВ, для остальных элементов – 15 кВ. Для каждого образца было сделано от 5 до 9 параллельных измерений.



Влияние толщины l таблетки (а, б) и давления P прессы (в, г) на содержание некоторых элементов в образце: 1 – К; 2 – Mn; 3 – Mg; 4 – P; 5 – S; 6 – Fe; 7 – Zn; 8 – Cu; 9 – Si

Точность количественного РФА в значительной степени определяется правильностью и надежностью подготовки исследуемого материала к анализу [1]. Поэтому было выполнено сравнение разных вариантов пробоподготовки. Проанализировали сплошной образец древесины и таблетку из опилок, полученную путем прессования. Различия в результатах измерений, оцененные по модифицированному тесту Стьюдента, оказались довольно значимыми. Коэффициент вариации был меньше для таблеток, поэтому дальнейшие эксперименты проводили только с ними.

На следующем этапе было выявлено влияние размера частиц на точность результатов и определен максимальный размер фракции опилок для анализа. Были изготовлены таблетки из опилок размером от 0,1 до 0,8 мм. Обнаружено, что различия между полученными образцами незначимы, т.е. можно использовать любую фракцию в этих пределах. Изменение толщины таблетки от 1 до 4 мм также не влияет на результаты (см. рисунок, а, б).

Для изучения влияния давления при прессовании были изготовлены таблетки диаметром 25 мм с усилием 2, 4, 6, 8, 10 тс (1 тс = 9 806,65 н). Измерения показали, что при давлении 6 тс и выше результаты не зависят от давления (см. рисунок в, г).

РФА основан на измерении интенсивности характеристического излучения определяемого элемента в рентгеновской области спектра. Флуоресцентное излучение возбуждается первичным излучением рентгеновской трубки. Эффективность возбуждения зависит от параметров работы рентгеновской трубки (ускоряющее напряжение и ток), поэтому их необходимо подобрать для каждого определяемого элемента. После выбора условий подготовки проб для каждого элемента были установлены условия

Элементный состав древесины березы

Элемент	$C_{\text{ср}}$	S	V, %
	мг/кг		
C	57 455	22 187	4
O	477 318	21 348	6
Na	1 595	429	27
Mg	361	77	22
Si	575	85	15
P	73	19	27
S	149	16	11
Cl	1 999	191	10
K	62	59	10
Ca	2 218	231	11
Mn	389	45	12
Fe	94	14	15
Ni	4	2	49
Cu	18	4	20
Zn	37	5	14
Al	1	1	87

измерения (экспозиция, ускоряющее напряжение и ток рентгеновской трубки) и сделан вывод, что оптимальными условиями для проведения анализа являются: напряжение на трубке – 15 кВ для легких элементов и 50 кВ для тяжелых, экспозиция – 200...300 с. Для элементов с более низким содержанием требуется большая экспозиция.

Учитывая все вышеперечисленные условия, был проведен анализ образца древесины березы. В таблице представлены средние значения содержания элементов по 10 параллельным определениям, также рассчитано стандартное отклонение S и коэффициент вариации V .

По данным таблицы можно сделать вывод, что при содержании элемента более 30 мг/кг результаты можно считать приемлемыми, а метод успешно применять для определения содержания тяжелых металлов в древесине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золотов Ю.А.* Основы аналитической химии. Кн. 2. М., 2004.
2. *Кудряшова В. И.* Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями // Экология промышленного производства. 2004. № 1. С. 37.
3. *Расова О.В.* Определение содержания марганца в золе целлюлозных полуфабрикатов и его влияние на процессы отбелки целлюлозы пероксидом водорода // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 43.

Поступила 20.10.11

E.M. Kashina, A.V. Malkov, K.G. Bogolitsyn

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

Determination of Heavy Metals Content in Wood by X-ray Fluorescence Spectroscopy

The first stage of developing technique to determine the composition of wood as to chemical elements by x-ray fluorescence method has been developed. Concentrations of C, O, Na, Mg, Si, K, Ca, S, Cl, P, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn have been determined. Influence of samples preparation (the fraction size, thickness of tablet) has been studied. Conditions necessary for measurements have been selected.

Keywords: x-ray fluorescence analysis, elemental composition, heavy metals, hard wood.

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»
в 2011 г.

- Егорушкин В.А.** Лесохозяйственный факультет Брянской государственной инженерно-технологической академии: история, современность, перспективы. № 2-7.
- ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО
- Алаудинова Е.В., Миронов П.В.** Сосна обыкновенная: особенности метаболизма мембранных липидов живых тканей почек. № 4-17.
- Алиев И.Н.** Быстрорастущие породы на техногенных землях центральной части Северного Кавказа. № 5-15.
- Болотов О.В.** Информационное обеспечение для планирования рационального лесопользования. № 4-11.
- Бугаев В.А., Сериков М.Т.** Объект современного лесостроительства. № 5-12.
- Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С.** Изреживание и продуктивность разногустотных молодняков лиственницы сибирской. № 3-33.
- Вайс А.А.** Нормативы для определения запасов вырубленных древостоев по пням в условиях Сибири. № 4-24.
- Васильев С.Б., Леденев Д.А., Семаев С.В.** Особенности роста сосны кедровой сибирской на техногенных субстратах Егорьевского месторождения фосфоритов. № 3-15.
- Видакин А.И., Санников С.Н., Петрова И.В.** Морфофенотипическая изменчивость популяций сосны обыкновенной в бассейнах рек Юг и Северная Двина. № 5-28.
- Гаврилов В.Н.** Динамика формирования сосновых молодняков различного происхождения на осушенных осоково-кустарничково-сфагновых болотах в южной Карелии. № 3-45.
- Грязькин А.В., Петрик В.В., Смертин В.Н.** Динамика состояния древостоев в крупнейшем парке Санкт-Петербурга. № 6-23.
- Демичева Н.В., Денисова С.А., Егоров В.М.** К выбору способов восстановления сосняков Пензенской области. № 1-32.
- Иванов Ю.В., Савочкин Ю.В., Марченко С.И., Иванов В.П.** Анализ ростовых процессов *Pinus sylvestris* L. на ранних стадиях онтогенеза в условиях хронического действия цинка. № 2-12.
- Ивонин В.М., Таниюкевич В.В.** Оценка ресурсов лесных полос на сельхозугодьях Ростовской области. № 6-17.
- Карасев В.Н., Карасева М.А.** Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период. № 1-37.
- Кекишева Ю.Е., Наквасина Е.Н.** Анализ ценофлоры сосудистых растений еловых лесов Плесецкого района Архангельской области. № 3-24.
- Кишенков Ф.В., Шаповалов Н.Ю.** Опыт изучения рубок ухода в учебно-опытном лесхозе БГИТА. № 2-54.
- Ковылина О.П., Ковылин Н.В.** Изучение состояния и роста полосных и массивных насаждений сосны обыкновенной в условиях сухой степи. № 4-36.

- Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.** Влияние подпочки и минеральных удобрений на физиологические процессы у сосны. № 5-20.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е.** Влияние географического происхождения на репродуктивное развитие кедра сибирского на лесосеменной плантации за 24-летний период. № 4-7.
- Маркина З.Н., Милешина А.В.** Использование песчаных почв при выращивании сеянцев сосны обыкновенной. № 2-49.
- Михайлов Н.А.** Особенности строения корневых систем порослевого дуба от тонких пней в Брянском лесном массиве. № 2-60.
- Неруш М.Н.** Изменение соотношений текущего и среднего приростов в порослевых дубравах. № 2-30.
- Нуреев Н.Б.** Почвы лесов области Вятского Увала в пределах Республики Марий Эл. № 1-7.
- Павлов И.Н., Барабанова О.А., Агеев А.А.** Снижение устойчивости пихтово-кедровых лесов Восточного Саяна к корневым патогенам. № 4-40.
- Панкратова Н.Н.** Выбор и обоснование видов использования лесов по приоритетности № 6-32.
- Панюшкина Н.В.** Особенности роста, развития и способы размножения можжевельника обыкновенного в Среднем Поволжье. № 3-29.
- Перепечина Ю.И.** Хозяйственно-лесорастительное районирование лесов лесостепи Южного Зауралья (на примере Курганской области). № 2-40.
- Перепечина Ю.И.** Послепожарное состояние лесов в хозяйственно-лесорастительных районах Курганской области. № 2-66.
- Поташева Ю.И., Петрик В.В.** Оценка жизненного состояния придорожных сосняков по длине потока живицы. № 1-29.
- Прохорова Е.В., Прохорова А.А.** Анализ фенотипической структуры клоновых потомств ели в архиве. № 1-15.
- Разумников Н.А., Конохова О.М.** Изменчивость биометрических и биохимических параметров плодов груши уссурийской в Среднем Поволжье. № 5-7.
- Робакидзе Е.А., Патов А.И.** Рост хвой ели сибирской (*Picea obovata Ledeb.*) в зависимости от экологических факторов. № 3-7.
- Романов Г.Г.** Симбиотическая азотфиксация ольхи серой в условиях средней подзоны тайги. № 3-39.
- Самошкин Е.Н., Адамович И.Ю.** Особенности строения и соотношение подтипов микориз *Picea abies* L. в условиях хронического загрязнения радионуклидами в Брянской области. № 2-75.
- Силкин П.П., Екимова Н.В.** Измерение клеточных параметров годичных колец хвойных № 5-35.
- Смирнов С.И.** Биотуристические ресурсы лесных и других экосистем и перспективы их освоения на территории европейской части России. № 2-46.
- Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М., Козик Е.В.** Оценка состояния городской среды методом фитоиндикации (на примере г. Красноярск). № 4-29.
- Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю.** Поврежденность деревьев разных морфологических форм сосны в низовье Северной Двины при аэротехногенном загрязнении. № 6-40.

- Устинов М.В., Устинов М.М.** Моделирование объемов стволов, выбираемых при рубках ухода в древостоях лесных культур ели Брянской области. № 2-19.
- Федорков А.Л.** Изменчивость хозяйственно-ценных признаков лиственницы Сукачева в клоновом архиве. № 3-20.
- Фролов Ю.А., Сабанин А.А., Штрахов С.Н., Корольчук В.Ф.** Исследование влияния подпочки с различными веществами на выход деловых сортиментов. № 6-47.
- Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В.** Влияние обеспеченности бором на рост и накопление элементов минерального питания у березы повислой. № 1-11.
- Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Николаева Н.Н.** Влияние обеспеченности бором на рост *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. № 6-7.
- Черных В.Л., Домрачев А.А., Елсуков А.С., Киселева Н.Г., Охотин Н.Н.** Закономерности товарной структуры сосняков искусственного происхождения регионов Поволжья. № 1-20.
- Шевелев С.Л., Немич Н.С., Михайлов П.В.** Совершенствование организации комплексного использования лесов в Красноярском крае. № 4-33.
- Шелуха В.П.** Состояние спелых и перестойных ельников в районе техногенеза. № 2-23.
- Шошин В.И., Биржов А.В., Смирнова М.Ю.** Рост и биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной в фазе чащи района хвойно-широколиственных (смешанных) лесов. № 2-34.
- Шошин В.И., Плотникова Г.П.** Исследование влияния альбита на приживаемость и рост культур сосны обыкновенной. № 2-71.
- Яборов В.Т.** Самозарастание техногенных отвалов Уруша-Ольдойского золотороссыпного узла в Приамурье. № 5-41.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Алферов В.А.** Экспериментальные исследования дополнительного сопротивления движению лесовозного автопоезда по кривым в плане. № 1-53.
- Баранов А.Н., Гайденок Н.Д., Чумаков В.Ф., Ясинский Р.А.** Совершенствование технологии возведения земляного полотна из мерзлого грунта. № 4-50.
- Войнаш А.С., Войнаш С.А.** Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза. № 5-47.
- Дорохов С.П.** Сравнительное исследование времени циклов двухзвенного манипулятора при различной организации движения его звеньев. № 3-64.
- Драпалюк М.В., Батищев С.Н.** Результаты теоретического исследования виброударной машины для удаления пней. № 3-51.
- Еналеева-Бандура И.М.** Построение опорного плана перевозок методом относительной обрачиваемости. № 4-46.
- Зайкин А.Н., Евельсон Л.И., Изюмова Е.Г.** Постановка задачи оптимизации объемов запасов и режимов работы лесосечных машин. № 2-92.
- Капустин Р.П.** К определению тонкости очистки комбинированным центробежным очистителем. № 2-105.

- Кузьмин Д.В., Томилова О.А.** Моделирование динамики многоконтурных механизмов на основе аналогов ускорений, аппроксимированных кусочно-линейными функциями. № 1-43.
- Маковеева Е.В.** Статистическая идентификация динамической системы «микропрофиль подкрановых путей – нагруженность ходовой тележки крана типа КБ». № 1-65.
- Памфилов Е.А., Заикин А.Н., Кривченкова Г.Н., Пилюшина Г.А.** Основные закономерности нагружения деталей пильных аппаратов лесозаготовительной техники. № 2-82.
- Пискунов М.В.** Алгоритм построения оптимальной сети лесных дорог. № 3-58.
- Посметьев В.И., Зеликов В.А., Третьяков А.И., Посметьев В.В.** О возможности использования рекуперированной энергии лесного почвообрабатывающего агрегата для интенсификации технологического процесса. № 1-60.
- Посметьев В.И., Свиридов Л.Т., Зеликов В.А.** Оптимизация рабочих параметров вибрационного механизма лесного дискового культиватора. № 4-54.
- Посыпанов С.В.** Комбинированный метод расчета пакета круглых лесоматериалов, уложенного на горизонтальном основании. № 1-47.
- Синицын С.С.** Энергетическая оценка процесса качения пневматического колеса по деформируемому грунту. № 2-100.
- Стуков В.П.** Оптимизация расстановки связей между ветвями деревожелезобетонной балки пролетного строения автодорожного моста. № 1-57.
- Тарасова М.А.** Многокритериальная оптимизация и повышение эффективности работы лесопромышленного комплекса. № 6-62.
- Чайка О.Р.** Методика оценки доступности деревьев для захвата при моделировании работы харвестера. № 2-89.
- Чудинов С.А.** Производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита. № 6-58.
- Ширнин Ю.А., Чернякевич В.И.** Расчет изгибающих моментов в плитах лесовозных дорог при пластических деформациях грунтового основания. № 6-50.

МЕХАНИЧЕСКАЯ
ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- Агеев С.П.** Энергетические режимы работы лесопильных рам. № 3-87.
- Агеев С.П.** Вероятностное моделирование работы лесопильных рам. № 5-78.
- Алексеев А.Е., Думанский И.О., Королев И.Ю., Елькин В.П., Ершов С.В., Васкан Ю.В.** Повышение эффективности механической переработки усыхающей древесины. № 3-74.
- Вишуренко Н.В., Корчма И.С.** Зависимость коэффициента уплотнения древесины от гидротермических факторов. № 4-63.
- Давыдов В.Д.** Интенсификация сушки волокнистых материалов. № 3-92.
- Елисеев С.Г., Ермолин В.Н.** Свойства водослойной древесины осины. № 4-58.
- Зарипов Ш.Г., Ермолин В.Н.** Избыточное давление в листовых пиломатериалах при низкотемпературной конвективной сушке. № 4-52.

- Коняшкин В.И.** Предельные характеристики инструментальных материалов. № 2-116.
- Лозовой В.А., Балдаков И.А.** Синхронизация скоростей перемещения древесного сырья механизмами поточных линий. № 4-75.
- Лукаш А.А.** Методика создания новых видов клееных древесных материалов. № 2-113.
- Лукаш А.А.** Деформации древесины при склеивании рельефной фанеры. № 2-119.
- Мелешко А.В., Манулик Г.О., Романова С.С., Скрипальщиков А.И.** Проблема отделки изделий из древесины хвойных пород водными материалами. № 4-69.
- Мелешко А.В., Хлоптунова Ю.В., Логинова Г.А.** Использование лакокрасочных материалов с объемным светорассеивающим эффектом для прозрачной отделки изделий из древесины хвойных пород. № 4-80.
- Меркелов В.М., Часова Н.А.** Определение объема слоев древесины, имеющих различные уровни загрязнения радионуклидами. № 2-109.
- Меркушев И.М.** Статика бездефектной сушки пиломатериалов. № 1-73.
- Меркушев И.М.** Динамика бездефектной сушки пиломатериалов. № 3-83.
- Морозов В.С., Беляев И.Н.** Автоматизированный фотометрический метод сортировки древесины. № 3-69.
- Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К.** Определение технологической температуры поверхности древесных гранул. № 5-71.
- Новоселов В.Г., Рогожникова И.Т.** Экспериментальное исследование изменения шероховатости обработанной поверхности в процессе фрезерования древесины № 6-70.
- Осмоловский Д.С., Асминин В.Ф.** Экспериментальное исследование диссипативных свойств вибродемпфирующих прокладок с фрикционным трением для снижения шума от круглопильных деревообрабатывающих станков. № 5-59.
- Прокофьев Г.Ф., Микловцик Н.Ю., Тюрин А.М.** Лесопильный станок с нерастянутыми «плавающими» полосовыми пилами, совершающими возвратно-поступательное движение в направляющих. № 5-64.
- Суровцева Л.С., Старкова А.В.** Эффективность производства древесных топливных гранул. № 6-76.
- Торопов А.С., Краснова В.Ф.** Совершенствование раскроя дуба черешчатого, пораженного внутренней заболонью под воздействием низких температур. № 1-68.
- Торопов А.С., Меркелов В.М., Краснова В.Ф.** Математическая модель определения объемного выхода пилопродукции при раскрое хлыстов, загрязненных радионуклидами. № 2-124.
- ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**
- Андреев А.И., Селянина С.Б., Богданович Н.И.** Характеристика сорбционных свойств сульфатного лигнина. № 6-88.

- Бабкин И.М., Бровко О.С., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Труфанова М.В.** Влияние нитрозирования на поверхностную активность лигносульфоновых кислот. № 6-94.
- Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Саврасова Ю.А.** Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов. № 6-134.
- Белоглазова А.Л., Попова Н.Р., Боголицын К.Г.** Окисление феруловой кислоты пероксидом водорода с использованием в качестве катализатора ванадомолибдофосфата натрия. № 6-119.
- Войнов Н.А., Воронин С.М., Жукова О.П., Ледник С.А.** Результаты внедрения и исследования контактных ступеней бражных колонн. № 4-93.
- Воронин И.А., Алашкевич Ю.Д., Дирацуян А.А., Решетова Н.С.** Влияние конструктивных параметров инерционных тел на размол волокнистых материалов. № 4-99.
- Дирацуян А.А., Нестеров Е.Е., Алашкевич Ю.Д., Воронин И.А.** Новый технологический параметр процесса размола волокнистых материалов. № 4-104.
- Дубовый В.К., Маркеев Д.П., Сысоева Н.В.** Влияние массы 1 м^2 и плотности на свойства бумагоподобных фильтрованных материалов из различных минеральных волокон. № 3-111.
- Дубовый В.К., Маркеев Д.П., Сысоева Н.В.** Влияние массы 1 м^2 и плотности на свойства бумагоподобных тепло- и шумоизоляционных материалов из различных минеральных волокон. № 3-117.
- Ермолина А.В., Миронов П.В.** Получение и свойства теплоизоляционного материала на основе вторичной волокнистой массы. № 4-109.
- Ермолина Т.В., Айзенштадт А.М., Богданов М.В., Гусаков Л.В.** Интегральные показатели качества поверхностных вод в зоне действия предприятий ЦБП (на примере р. Северная Двина). № 5-83.
- Ерофеева А.А., Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д.** Определение коэффициента динамической вязкости макулатурной массы. № 4-115.
- Исаева Е.В., Рязанова Т.В.** Исследование состава CO_2 -экстракта вегетативной части тополя бальзамического методом хромато-масс-спектрометрии. № 4-119.
- Кашина Е.М., Малков А.В., Боголицын К.Г.** Определение содержания тяжелых металлов в древесине методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. № 6-140.
- Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д.** Определение угла скрещивания режущих кромок прямолинейных ножей при двухстороннем исполнении гарнитур ножевых размалывающих машин. № 4-89.
- Коваленко В.В., Сысоева Н.В., Дубовый В.К., Безлаковский А.И.** Фракционный состав по диаметру штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги специального назначения. № 5-101.
- Коваленко В.В., Сысоева Н.В., Дубовый В.К., Безлаковский А.И.** Фракционный состав по длине штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги. Методы определения. № 6-101.

- Комаров В.И., Дьякова Е.В., Дмитриева М.Н.** Исследование межволоконных взаимодействий волокон в структуре бумаги. № 1-109.
- Комиссаренков А.А., Хорьков В.Г.** Кондиционирование макулатуры в процессе роспуска с применением модифицированных наполнителей. № 1-77.
- Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И.** Определение состава этанольного экстракта бересты. № 6-107.
- Котенева И.В., Сидоров В.И., Котлярова И.А.** Исследование структуры модифицированной целлюлозы. № 1-96.
- Куров В.С., Тихонов Ю.А.** Напорный ящик для массы повышенной концентрации. № 5-94.
- Лавров И.В., Севастьянова Ю.В., Комаров В.И., Дулькин Д.А.** Влияние композиции по волокну и технологических параметров на характеристики бумаги для гофрирования. № 5-89.
- Ладесов А.В., Косяков Д.С., Боголицын К.Г.** Метилсульфат 1-бутил-3-метил-имидазолия – новый растворитель лигноцеллюлозных материалов. № 6-81
- Личутина Т.Ф., Гусакова М.А., Мискевич И.В., Цыганов С.П., Соболева Т.В.** Экологическая оценка производства продукции на целлюлозно-бумажных предприятиях бассейна р. Северная Двина в соответствии с требованиями Европейского сообщества. № 1-84.
- Николаев Е.С., Каянто И., Смолин А.С., Казымов Д.С., Мещеряков Е.В.** Изучение влияния процесса размола на электрокинетические свойства волокон и волокнистых суспензий. № 3-103.
- Романов М.Е., Королева Т.А., Комаров В.И., Миловидова Л.А.** Влияние породного состава и параметров сульфатной варки на прочностные и деформационные характеристики лиственной сульфатной целлюлозы. № 5-112.
- Руденко Б.Д.** Исследование режимных факторов изготовления плит из коры и вторичного полиэтилена. № 4-85.
- Руденко Б.Д.** Моделирование статического состояния цементно-древесного композита в процессе эксплуатации. № 4-125.
- Сиваков В.П., Партин И.А.** Динамические процессы в питателе высокого давления при выгрузке. № 1-117.
- Смирнова А.И., Дягилева А.Б.** Механизм формирования органо-минеральных структур на основе сульфатного лигнина и алюмосодержащих компонентов. № 6-112.
- Смолин А.С., Дубовый В.К., Комаров Д.Ю.** «Пенный» способ формирования бумагоподобных композитов. № 1-101.
- Смолин А.С., Мурашов Я.С.** Влияние физико-механических характеристик материала на показатель сопротивления сжатию на коротком расстоянии. № 3-96.
- Смолин А.С., Шабиев Р.О.** Комплексные исследования электроповерхностных явлений в гидросуспензиях растительных волокон. № 6-124.
- Хабаров Ю.Г., Бабкин И.М., Вешняков В.А.** Влияние кислоты при нитровании лигносульфонатов на их способность к пептизации магнитоактивного соединения на основе сульфата железа (II). № 5-106.

Чухчин Д.Г., Матонина Н.А., Новожилов Е.В., Соколов О.М.
Характеристика водорастворимых лигноуглеводных комплексов, выделенных из древесины, обработанной электронно-пучковой плазмой. № 1-90.

**ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА**

Горбов Н.М., Серебряков Н.В.
Инновационное управление развитием малых предприятий ЛПК. № 3-123.

Грязнов С.Е., Кузминых Ю.В., Богачев Ю.К.
Оценка и измерение нелегальных лесозаготовок в лесном секторе Российской Федерации. № 5-124.

Кируца Г.А.
Кредитная кооперация: проблемы и перспективы развития. № 5-117.

Кузовлева И.А., Силкина Т.Я.
Имущественный фактор формирования конкурентных преимуществ предприятий лесопромышленного комплекса. № 2-129.

Кузьминых Ю.В., Богачев Ю.К.
Государственное регулирование лесного экспорта в Российской Федерации. № 3-127.

Лукаш А.А.
Определение цены на новые виды фанерной продукции. № 2-134.

Лыков Д.В., Молнар Я.Ф.
Реформирование тарифной системы оплаты труда на предприятиях лесопромышленного комплекса. № 5-121.

Медведев С.О., Степень Р.А., Соболев С.В.
Развитие современного лесопромышленного кластера в Красноярском крае. № 4-131.

Прешкин Г.А.
Анализ экономических факторов формирования стоимости лесных ресурсов. № 1-131.

Ромашов Ю.М.
Методологические вопросы разработки лесных планов субъектов Российской Федерации. № 1-122.

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
И ОБМЕН ОПЫТОМ**

Артемьев О.С.
Методика оценки показателей, определяемых при ландшафтной таксации, с применением материалов наземной цифровой фотосъемки. № 4-137.

Варфоломеев Ю.А., Клепиков И.В., Рыльчиков В.В.
Высокотехнологичное геодезическое обследование аэродромов на Севере. № 2-145.

Варфоломеев Ю.А., Богданович Н.И., Бокова Е.М.
Интеграция инновационной деятельности по разработке и производству средств защиты от последствий техногенных аварий и катастроф в Арктике и Субарктике с использованием местных сырьевых ресурсов. № 3-155.

Варфоломеев Ю.А.
Проблемы и перспективы безопасного освоения ресурсов Арктики. № 3-160.

Ерохин А.В.
Отбор деревьев при комплексных рубках в сосновых насаждениях с ярусом ели. № 2-141.

Ковалев В.И., Алашкевич Ю.Д.
Определение коэффициента скольжения прямолинейных ножей размольной гарнитуры. № 4-139.

Любов В.К., Романов А.Ю.
Исследование эффективности работы отопительных котельных. № 3-142.

Мальцев А.Н., Сабуров Э.Н.
Физическое и численное моделирование аэродинамики циклонно-вихревой камеры с распределенным вводом газа. № 3-134.

Прокофьев Г.Ф., Дербин М.В.

Определение напряжений в ленточной пиле при применении отжимных направляющих. № 5-131.

Решетников А.П., Меркелов В.М.,

Решин А.П. Теплогенератор многоцелевого назначения. № 2-138.

Тельминов И.В., Невзоров А.Л.

Исследование фильтрационных свойств верхового торфа. № 3-152.

Шубный П.Б., Дербин М.В., Ковалев Л.А.

Определение возможности использования аэро-статических направляющих для охлаждения круглых пил при пилении древесины. № 5-138.

ИСТОРИЯ НАУКИ

Чибисов Г.А., Фомин А.П.

Лесному опытному делу на Севере – 100 лет. № 1-137.

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

Уголев Б.Н.

Воронежская сессия Координационного совета по древесиноведению. № 5-141.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Евдокимов В.Н., Лохов Д.В.

Новая работа о фитомассе культур сосны. № 5-144.

ЮБИЛЕИ

Залесов С.В. К 80-летию ученого-лесоведа. № 1-141.

Ректорат Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, редколлегия и редакция «Лесного журнала». Юбилей Ефима Дмитриевича Гельфанда. № 3.

Степаненко И.И. Биогеоценология – источник вдохновения и создания (к 80-летию К.Д. Мухамедшина). № 1-143.
