

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

1/325

2012

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» № 1/325

Подписной индекс 70368

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

Сдан в набор 24.02.2012. Подписан в печать 12.04.2012. Заказ № 236
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,372. Усл. кр.-отт. 14,372.
Уч.-изд. л. 19,416. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

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

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

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина.</i> Влияние дозы азота при подкормках на отток ¹⁴ C-ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых.....	7
<i>Б.В. Бабилов.</i> Расход влаги с осушенных лесных болот.....	14
<i>Г.С. Разин.</i> О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев.....	18
<i>Н.И. Германова, М.В. Медведева, А.В. Мамай.</i> Динамика разложения листового опада в среднетаежных насаждениях Карелии.....	24

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, А.А. Занин.</i> Дифференцированный расчет объемов земляных работ по элементам земляного полотна на участках малых насыпей..	33
<i>И.Н. Кручинин.</i> Формирование снежного наката с заданными свойствами на лесовозных автомобильных дорогах.....	38

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, В.К. Любов, Д.Л. Герасимчук, А.Н. Попов.</i> Экспериментальный стенд для исследования процессов прессования древесных гранул.....	42
<i>В.Г. Турушев, Н.В. Дерягин, Е.Д. Гельфанд.</i> Проблемы производства товарных пиломатериалов.....	47
<i>В.В. Сергеевичев.</i> Математическая модель процесса прокатки древесных материалов в валковых прессах.....	55
<i>Л.В. Кремлева, В.И. Малыгин, Н.А. Пестов.</i> Методика определения оптимальной пространственной ориентации цилиндрических заготовок с большими отклонениями формы и размеров.....	63
<i>О.А. Куницкая, В.Я. Шапиро, С.С. Бурмистрова, И.В. Григорьев, А.Е. Земцовский.</i> Обоснование исходных требований математической модели обезвоживания древесины в процессе прессования и сушки.....	70

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>К.Г. Боголицын, А.С. Аксенов, И.А. Паламарчук, Т.А. Бойцова, О.С. Бровка, С.С. Хвиузов, Т.В. Левандовская, В.П. Варламов.</i> Модификация лигносульфонатов и оценка возможности их комплексообразования с хитозаном.....	80
<i>М.Е. Романов, Т.А. Королева, Л.А. Миловидова.</i> Влияние породного состава сырья и параметров сульфатной варки на характеристики сульфатной лиственной целлюлозы.....	88
<i>А.И. Дернов, Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев.</i> Оценка прочности целлюлозных волокон. Прямые методы испытаний.....	94
<i>И.В. Липин.</i> Кинетика гипохлоридного окисления остаточного лигнина.....	103
<i>Ю.А. Саврасова, Н.И. Богданович, Н.А. Макаревич, М.Г. Белецкая.</i> Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов.....	107

<i>И.Н. Зубов, С.С. Хвиузов, М.А. Лобанова, М.А. Гусакова, К.Г. Боголицын. Влияние абиотических факторов на формирование лигноуглеводной матрицы древесины можжевельника.....</i>	113
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>П.В. Королев. Пути преодоления барьеров, препятствующих развитию конкуренции в лесной отрасли Иркутской области.....</i>	121
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Ф.Н. Дружинин. Оценка длительно-постепенных рубок в лиственных насаждениях.</i>	128
<i>В.Г. Гусев, Е.Л. Лопухова, В.К. Дубовый. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов.....</i>	134
<i>И.А. Кузнецова, К.Г. Боголицын, Н.С. Ларионов, Т.А. Бойцова, И.А. Паламарчук, А.С. Аксенов. Исследование сорбционных свойств гуминовых кислот по отношению к Cd(II) и Pb(II).....</i>	146
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>Коллеги и ученики. Памяти учителя (к 100-летию со дня рождения Н.А. Батина)....</i>	151
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Ректорат С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, редколлегия «Лесного журнала», ученики, коллеги, друзья. К юбилею Евгения Николаевича Серова.....</i>	153
<i>Коллеги, друзья, ученики. Юбилей Евгения Анатольевича Памфилова.....</i>	155
<i>НЕКРОЛОГИ</i>	
<i>Коллектив кафедры водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Памяти коллеги.</i>	157
<i>Кафедра ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ имени М.В. Ломоносова, кафедра лесных культур СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, редколлегия «Лесного журнала». Хранитель истории лесов России (памяти Г.И. Редько)..</i>	159
<i>Ректорат и коллектив лесотехнического института САФУ имени М.В. Ломоносова, редколлегия и редакция «Лесного журнала». Памяти Олега Алексеевича Неволлина.....</i>	161



CONTENTS

FORESTRY

<i>V.N. Konovalov, L.V. Zarubina.</i> Impact of Nitrogen Dose on the ¹⁴ C-Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests.....	7
<i>B.V. Babikov.</i> Water Discharge from the Wooded Bogs.....	14
<i>G.S. Razin.</i> Laws and Mechanisms of Growth and Development, Bios and Die-Off of Wood Stands.....	18
<i>N.I. Germanova, M.V. Medvedeva, A.V. Mamay.</i> Dynamics of the Needle-Leaf Tree Waste Destruction in the Stands of Medium Boreal Karelia.....	24

WOODEXPLOITATION

<i>D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, A.A. Zanin.</i> Earth Works Volumes Differential Calculations Based on the Earth-bed Elements of the Small Embankments Plots...	33
<i>I.N. Kruchinin.</i> Formation of Predesigned Packed Snow Surface of Logging Roads.....	38

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>O.D. Mueller, V.I. Melekhov, V.K. Lubov, D.L. Gerasimchuk, A.N. Popov.</i> Test Workbench for Wood Pellets Extrusion Process Research.....	42
<i>V.G. Turushev, N.V. Derjagin, E.D. Gelfand.</i> Problems of Commodity Sawm Timber Production.....	47
<i>V.V. Sergeevichev.</i> The Math Model of Working Wood Materials in Rolling Presses.....	55
<i>L.V. Kremleva, V.I. Malygin, N.A. Pestov.</i> Method of Determination of Optimum Spatial Orientation of Cylindrical Purveyances with the Large Rejections of Form.....	63
<i>O.A. Kunitskaya, V.Y. Shapiro, S.S. Burmistrova, I.V. Grigoriev, A.E. Zemtsovskiy.</i> Argumentation of Mathematic Model Initial Conditions for Dehydrating of Wood During Compression and Drying Process.....	70

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>K.G. Bogolitsyn, A.S. Aksonov, I.A. Palamarchuk, T.A. Boitsova, O.S. Brovko, S.S. Khviuzov, T.V. Levandovskaya, V.P. Varlamov.</i> Modification of Lignosulfonates and Assessment of Lignosulfonate–Chitosan Complex Formation Ability.....	80
<i>M.E. Romanov, T.A. Koroleva, L.A. Milovidova.</i> The Influence of Raw Material Species Composition and Kraft Palp Parameters on the Characteristics of Kraft Hard Wood Pulp.....	88
<i>A.I. Dernov, E.V. Dyakova, A.V. Guryev.</i> Cellulose Fiber Strength Assessment. Direct Methods of Testing.....	94
<i>I.V. Lipin.</i> Kinetics of Oxidation Residual Lignin by Hypochlorite Sodium.....	103
<i>Y.A. Savrasova, N.I. Bogdanovich, N.A. Makarevich, M.G. Beletskaya.</i> Carbon Adsorbents Based on Lignocellulosic Materials.....	107
<i>I.N. Zubov, S.S. Khviuzov, M.A. Lobanova, M.A. Guskova, K.G. Bogolitsyn.</i> Influence of Abiotic Factors on the Juniper Wood Lignocarbhydrate Matrix Formation.....	113

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- P.V. Korolyov.* Ways to Overcome the Barriers Obstructing Competition Expansion in the Forest Sector of Irkutsk Region..... 121

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- F.N. Druzhinin.* The Estimation of Continuous and Progressive Fellings in Deciduous Plantations..... 128
- V.G. Gusev, E.L. Lopuhova, V.K. Dubovy.* Classification and the General Properties of Wood Combustible Materials..... 134
- I.A. Kuznetsova, K.G. Bogolitsyn, N.S. Larionov, T.A. Boytsova, I.A. Palamarchuk, A.S. Aksenov.* Research in Sorption Properties of Humic Acid with Cd (II) and Pb (II)..... 146

HISTORY OF SCIENCE

- Colleagues and followers.* In the Memory of the Teacher (by 100th anniversary of N.A. Batin's Birth)..... 151

JUBILEES

- Administration of the Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction, Editorial staff of the "Forest Journal", pupils, colleagues, friends.* Devoted to Eugeny Nikolayevich Serov's anniversary..... 153
- Colleagues, friends, followers.* Jubilee of Eugeny A. Pamfilov..... 155

OBITUARY

- Collective of department of wood materials waterborne transport and hydraulics of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.* In Memory of our Colleague..... 157
- Department of landscape architecture and artificial forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Department of forest plantations, S.-Petersburg Technical University named after S.M. Kirov, Editorial staff of the "Forest Journal".* The Custodian of the Russian Forests History (in memory of G.I. Redko)..... 159
- Administration, Staff of Forestry Institute of the SAFU, Editorial staff of the "Forest Journal".* In Memory of Oleg Alexeyevich Nevolin..... 161



УДК 630*161.4:631.811.1

В.Н. Коновалов¹, Л.В. Зарубина²

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

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина

Коновалов Валерий Николаевич родился в 1940 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета. Имеет около 120 печатных работ в области эколого-физиологического обоснования эффективности лесосушения на Севере, подсоски и прижизненного просмоления древесины, применения минеральных удобрений в лесных экосистемах, способов рубок, изучения природы лесов Крайнего Севера, сезонного роста древесных пород и др.

Тел.: 8(8182) 21-61-58



Зарубина Лилия Валерьевна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Имеет 30 печатных работ по экологии и физиологии осушаемых лесов, биологии рубок, вопросам минерального питания и др.

Тел.: 8-921-684-31-56



ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ АЗОТА ПРИ ПОДКОРМКАХ НА ОТТОК ¹⁴C-АССИМИЛЯТОВ У СОСНЫ В СОСНЯКАХ ЛИШАЙНИКОВЫХ

Показано влияние дозы азота при внесении минеральных удобрений на скорость ассимиляции атмосферной CO₂ и отток ¹⁴C-ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых. Выявлено, что повышенная доза азота в первый год у сосны нарушает ассимиляцию CO₂, отток из хвои, передвижение по дереву углеродных продуктов и в целом ведет к снижению продуктивности деревьев.

Ключевые слова: сосна, сосняки лишайниковые, азот, доза, отток, ¹⁴C-ассимиляты.

Среди физиологических проблем, связанных с продуктивностью растений, центральное место отводится интеграции фотосинтеза и роста, которая на уровне целого реализуется через систему донорно-акцепторных взаимоотношений, опосредованных процессами транспорта ассимилятов [7, 10–12]. Продукты фотосинтеза являются основным источником для синтеза важнейших органических соединений, используемых растением на рост. Поэтому создание благоприятных условий для их биосинтеза и ускоренного выхода из фотосинтезирующей клетки служит одним из главных условий повышения продуктивности растений. Часто вследствие нарушения работы корней ассимиляционный аппарат бывает перегружен крахмалом и другими продуктами ассимиляции, тогда

как содержание их в других частях растений бывает пониженным, не обеспечивающим их нормальную работу. Напротив, ускоренное освобождение ассимиляционного аппарата от продуктов фотосинтеза позволяет значительно повысить работоспособность самого ассимиляционного аппарата [2, 7, 12], способствует усилению роста, поглощению корнями из почвы питательных элементов и воды. Удобрения способны значительно интенсифицировать эти процессы.

Нами в 25-летнем сосняке лишайниковом у сосны, наряду с другими физиологическими процессами, было изучено влияние дозы азотного удобрения (N180, N240, контроль) на скорость оттока, передвижения и распределения изотопа углерода ^{14}C . Удобрения в виде карбамида были внесены в почву в первой декаде июня. Подкормка трех верхушечных мутовок радиоактивной углекислотой ($^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$ (4 МБк/л)) проведена при ясном безоблачном небе через три недели после внесения удобрений. Можно отметить, что при отсутствии верхнего затеняющего полога и небольших размерах деревьев (1,8...2,0 м) все экземпляры были одинаково хорошо освещены, почва увлажнена.

Перед подкормкой и неделю после нее стояла сухая жаркая погода (дневная температура – 28...32 °С, ночная – 19...23 °С). У сосны шло активное формирование прироста апикальных и латеральных побегов, началось появление и развитие на побегах молодой хвои. В день подкормки длина молодой хвои составляла 1,0...1,5 см. Образцы хвои, древесины и корней для анализа отбирали через 0,5; 6; 24 и 192 ч. Результаты исследований приведены в таблице.

Из данных таблицы видно, что внесение азота изменило интенсивность ассимиляции CO_2 сосной. Результаты радиометрического анализа показали, что за время экспозиции (0,5 ч) в атмосфере $^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$ у растений на контрольной и опытных (N180, N240) площадках в процессе фотосинтеза (в расчете на 1 г абс. сухой массы) хвоей текущего года было ассимилировано радиоуглерода соответственно $61,4 \cdot 10^3$; $71,3 \cdot 10^3$ и $56,6 \cdot 10^3$ имп./мин. За этот же период хвоей второго года вегетации было ассимилировано в 4,8–5,0 раз больше, чем только что вышедшей из-под почечных чешуек. Следует отметить, что в этот период активному поглощению $^{14}\text{CO}_2$ сосной способствовала достаточно высокая интенсивность дыхания корней (1,2...2,1 мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$ – мелкие, 0,8...1,2 мг $\text{CO}_2/(\text{г} \cdot \text{ч})$ – ростовые корни).

Влияние дозы азота на скорость оттока и распределения ^{14}C -ассимилятов ($R \cdot 10^3$, имп./мин на 1 г абс. сухого вещества) у сосны

Объект	Контроль				N180				N240			
	Время наблюдений, ч											
	0,5	6	24	192	0,5	6	24	192	0,5	6	24	192
Хвоя: текущего года	61	124	313	289	71	112	341	196	57	99	274	243
второго года	325	235	86	27	364	311	70	27	278	210	65	28
<i>Всего хвои</i>	386	359	399	316	435	423	411	223	335	309	339	271
Корни	0	0	0,3	1,5	0	0	0,6	2,1	0	0	0,3	1,2

Дальнейшие исследования показали, что к моменту подкормки (30 июня) молодая хвоя оставалась еще довольно активным акцептором молодых ассимилятов, за счет которых и шло ее формирование. На это указывает достаточно быстрое повышение радиоактивности ее уже после подкормки. Через 6 ч после экспозиции в токе $^{14}\text{CO}_2 + \text{CO}_2$ радиоактивность молодой хвои в контроле дополнительно к уже имеющейся увеличилась еще на 51 %. Как показали опыты П.И. Юшкова [15], в этот период в молодой хвое происходит интенсивное включение радионуклидов в полимерные соединения и их закрепление в конституционных структурах клеточных стенок. Согласно данным [14], в этот период молодая хвоя сосны является также активным потребителем почвенного азота. В то же время содержание радиоуглерода в прошлогодней хвое после проведенной подкормки начало быстро снижаться в результате его оттока. За 6 ч радиоактивность этой хвои по сравнению с первоначальными показателями уменьшилась на 51 %, а радиоактивность хвои третьего года вегетации за этот же период – на 79 %.

В течение первых суток от начала подкормки радиоактивность молодой хвои в контроле возросла по сравнению с первоначальными показателями на 81 % и составляла $313,0 \cdot 10^3$ имп./мин. Только к 8 июля молодая хвоя, достигнув половины (1,6 см – в контроле, 2,4...2,7 см – в опыте) своего максимального размера, перешла на самостоятельное углеродное питание и стала активным донором углеродистых соединений. На это указывает значительное снижение ее радиоактивности, которая в этот период сократилась по сравнению с максимальными значениями на 11...43 %. У двухлетней хвои этот показатель уменьшился в 9,8–13,4 раза и составил в контроле $26,0 \cdot 10^3$ против $289,0 \cdot 10^3$ имп./мин, на опытных площадках – соответственно $(27,2...28,3) \cdot 10^3$ против $(195,7...234,4) \cdot 10^3$ имп./мин. Опыты показали, что развитие молодой хвои и обеспечение ее продуктами текущего фотосинтеза по достижению половины максимального размера происходило преимущественно за счет метаболитов, поступающих из хвои старших возрастов, радиоактивность которой в этот период быстро сокращалась.

Известно, что вырабатываемые в процессе фотосинтеза молодые ассимиляты вследствие их высокой лабильности и возникающих со стороны активных акцепторных центров (молодой хвои, камбия, корней) запросов на них достаточно быстро по системе ближнего и дальнего транспорта экспортируются к зонам активного потребления, где используются для осуществления различных синтезов и процессов жизнедеятельности [7, 5, 10–12].

В ходе экспериментов установлено, что за счет дополнительного поступления ассимилятов доля участия молодой хвои в суммарной радиоактивности существенно возросла и в контроле через сутки составляла 65 % против 8 % сразу после подкормки. Из данных таблицы видно, что через сутки следы радиоуглерода были обнаружены и в корнях, а спустя 8 сут их радиоактивность уже достигла $1,5 \cdot 10^3$ имп./мин. Однако концентрация радиоуглерода в корнях оставалась в десятки раз ниже, чем в верхушечной мутовке дерева.

В период интенсивного роста побегов в боковых ветвях мутовки, расположенной ниже узла введения, радиоуглерод был обнаружен нами в очень ограниченном количестве. Его содержание в молодой хвое не превышало $4,0 \cdot 10^3$,

а в хвое второго года вегетации – $2,3 \cdot 10^3$ имп./мин. Однако исследования П.И. Юшкова [15] показали, что радиоактивные продукты фотосинтеза вообще не поступают в мутовки, расположенные ниже подкормленной, и в неподкормленные боковые ветви ниже узла введения. Обнаруженный нами факт появления радиоактивности в молодой хвое, формирующейся ниже узла введения, вероятно, можно отнести на счет возросшей акцепторной активности растущих ветвей этой мутовки и активизации корневой системы в период интенсивного роста хвои и побегов.

Минеральные удобрения являются одним из весьма действенных экзогенных регуляторных факторов, способных существенно изменять донорно-акцепторные взаимоотношения у растений [7]. Результаты наших опытов, проведенных на деревьях, подкормленных разными дозами азота (N180, N240, контроль), показывают, что для сосны содержание азота в почве играет существенную роль в скорости поглощения и передвижения радиоуглеродных соединений. Обе дозы минерального азота через три недели после внесения их в почву существенно изменили скорость ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$ сосной и последующее передвижение радиоуглеродных метаболитов, но не изменили общий принцип распределения их между органами дерева.

Сравнивая показатели ассимиляции $^{14}\text{CO}_2$ у контрольных и опытных растений, необходимо отметить, что за период подкормки больше всего радиоуглерода было ассимилировано удобренными деревьями, особенно, на площадках с дозой азота 180 кг/га (N180). На площадках с дозой N240 1–2-летней хвоей было накоплено радиоактивного углерода на 23 % меньше. Как показывают наши опытные данные [4], эта доза азота у растений нарушила нормальную работу корней и привела к частичной гибели мелких корневых окончаний в верхних слоях почвы. Всего за время подкормки 1–2-летней хвоей у контрольных растений было ассимилировано $397,0 \cdot 10^3$, у опытных (N180, N240) – соответственно $434,8 \cdot 10^3$ и $334,3 \cdot 10^3$ имп./мин.

Во всех случаях в период активного роста побегов главным акцептором атмосферной $^{14}\text{CO}_2$ была хвоя второго года вегетации. Молодым формирующимся ассимиляционным аппаратом в начальный период освобождения его от покровных чешуек было ассимилировано в 5,0–5,5 раза меньше радиоуглерода, чем двухлетней хвоей. В общей суммарной массе поглощенного за время подкормки деревьями радиоуглерода доля молодой хвои в контроле и на опытных площадках (N180, N240) составляла соответственно 8, 16 и 17 %. Из этих данных следует, что в период формирования молодых побегов основную физиологическую нагрузку по ассимиляции атмосферной CO_2 принимает на себя хвоя прошлых лет вегетации. В этот период на ее долю у деревьев на удобренных площадках приходится почти 85 % всего поглощенного углерода. Молодая хвоя в начальный период своего развития (сразу после освобождения от почечных чешуек) даже несмотря на улучшение азотного питания продолжает оставаться активным акцептором молодых ассимилятов. При этом высокие дозы азота в период роста молодых побегов больше задерживают нормальное развитие молодого ассимиляционного аппарата, чем на контроле, снижая его фотосинтетическую активность.

Кроме процессов накопления, при недостатке азотного питания существенные нарушения отмечены нами в динамике содержания и оттока из хвои радиоуглеродных соединений. В течение первых суток наибольшее количество радиоуглеродных соединений поступило в транспортную сеть растений на площадке с N180. Если за первые 6 ч из хвои второго года у контрольных растений оттекло $90,8 \cdot 10^3$, а у опытных (N180 и N 240) – $52,1 \cdot 10^3$ и $68,2 \cdot 10^3$ имп./мин, то в течение первых суток от момента подкормки эти показатели заметно изменились и составили соответственно $240,0 \cdot 10^3$; $293,1 \cdot 10^3$ и $213,2 \cdot 10^3$ имп./мин. За этот период практически вся оттекающая из хвои второго года масса ассимилятов поступила в молодую хвою, где использовалась на формирование нового ассимиляционного аппарата. В течение первых суток из суммарного количества транспортируемых в растении ассимилятов в молодую хвою поступило: у контрольных растений – $251,6 \cdot 10^3$ имп./мин, у опытных растений (N240, N180) – $217,4 \cdot 10^3$ и $269,9 \cdot 10^3$ имп./мин. Из этих данных следует, что у сосны в год внесения азот в количестве 180 кг/га значительно ускоряет, а в количестве 240 кг/га задерживает формирование нового ассимиляционного аппарата также, как и его недостаток. Следовательно, доза N180 является оптимальной для сосны в этом возрасте и может быть рекомендована для улучшения условий питания и повышения роста молодых культур сосны в сосняках лишайниковых.

К концу 8 сут радиоактивность молодой хвои на всех участках стала уменьшаться, что свидетельствовало о переходе ее в этот период на самостоятельное углеродное питание, несмотря даже на незавершенность к этому моменту ее видимого роста. За этот период радиоактивность молодой хвои уменьшилась: в контроле – на 8 %, на опытных площадках (N240, N180) – соответственно на 11 и 43 %. Радиоактивность хвои второго года в течение этого периода также продолжала снижаться. Через 8 сут после подкормки ее радиоактивность от первоначальных максимальных показателей составила: в контроле – 8 %, на опытных площадках (N240 и N180) – соответственно 10 и 8 %. За 8 сут в транспортную сеть больше всего ассимилятов ($336,3 \cdot 10^3$ имп./мин) поступило у растений на площадках с дозой N180, а минимальное количество ($249,4 \cdot 10^3$ имп./мин) – с дозой N240. В контроле хвоей второго года вегетации в молодую хвою и ствол за этот же период было аттрагировано $299,0 \cdot 10^3$ имп./мин.

Наблюдаемая у растений на площадках с N180 ускоренная и увеличенная эвакуация меченых ассимилятов из ассимиляционного аппарата дает основание полагать, что она обусловлена повышенными запросами на ассимиляты со стороны активных аттрагирующих центров – потребителей ассимилятов (молодая хвоя, камбий, корни), которые после улучшения корневого питания стали еще более активно их потреблять. На это указывают наши экспериментальные данные более ранних опытов [3].

Известно, что вырабатываемые листом ассимиляты по системе ближнего и дальнего транспорта передвигаются в ствол и дальше в корни, где используются растением при выработке важнейших биологических соединений для формирования нового прироста и поддержания жизнедеятельности. В нашем опыте количество меченых продуктов, поступивших в корни, оказалось зависимым

от условий корневого питания. Как показали результаты радиохимического анализа, больше всего ассимилятов в корни ($2,1 \cdot 10^3$ имп./мин – в мелкие, $1,2 \cdot 10^3$ имп./мин – в проводящие) поступило у растений на площадках с дозой азота 180 кг. Это на 40 % больше, чем в контроле, и на 52 % больше, чем на площадках с N240. При этом наиболее активно ассимиляты накапливались в мелких корнях. Радиоактивность проводящих корней оказалось на 40 % ниже, чем мелких корневых окончаний.

Как известно, часть ассимилятов, поступивших в корни, после их корневой метаболизации вновь возвращается в надземные органы в виде продуктов корневой деятельности [7, 5]. Поэтому можно полагать, что у растений с дозой N180 в надземную часть возвращается их значительно больше, чем в контроле и на площадке с N240. Эта особенность метаболизма у сосны на площадках с N180 и обеспечила активную работу всех ее органов и более быстрый рост в этих условиях, что в дальнейшем было нами установлено [8].

Таким образом, результаты проведенного нами исследования свидетельствуют о значительном нарушении у сосны в северных сосняках лишайниковых также скорости фотосинтеза и задержки постфотосинтетического оттока из хвои продуктов углеродного метаболизма наряду с другими физиологическими процессами. Установлено, что до середины июля почти все ассимиляты, вырабатываемые хвоей прошлых лет, используются растениями на формирование нового ассимиляционного аппарата и лишь небольшая часть их оттекает в ствол и корни. Азот в благоприятных дозах усиливает ассимиляцию сосной атмосферной CO_2 , способствует накоплению и активному перемещению к активным зонам меченых ассимилятов. Повышенные дозы элемента нарушают эти процессы. В литературе имеются указания [9] на то, что азот стимулирует в корнях и листьях растений синтез эндогенных фитогормонов. Последние выступают в качестве важного регуляторного механизма транспорта ассимилятов, ускоряющего перемещение их к потребляющим зонам и органам [1, 6, 12, 13], что и отмечено в наших опытах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзенкова Р.А., Мокронос А.Т. Роль фитогормонов в биосинтезе хлоропластов // Физиология растений. 1976. Т. 23, Вып. 3. С. 490–498.
2. Климович С.В., Трунова Т.И., Мокронос А.Т. Механизм адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды через изменение донорно-акцепторных отношений // Физиология растений. 1990. Т. 37, Вып. 5. С. 1024–1035.
3. Коновалов В.Н., Вялых Н.И., Коновалова Л.В. Эколого-физиологическое обоснование рубок главного пользования в лесах Европейского Севера // Антропогенное влияние на европейские таежные леса России. Архангельск: АИЛиЛХ, 1994. С. 38–52.
4. Коновалов В.Н., Листов А.А. Влияние условий минерального питания на дыхание корней сосны обыкновенной // Лесн. журн. 1989. № 4. С. 15–19. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Крамер П.Д., Козловский Т. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-ть, 1983. 484 с.
6. Кулаева О.Н. Цитокинины. Их структура и функции. М.: Наука, 1973. 263 с.

7. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. М.: Наука. 647 с.
8. Листов А.А., Коновалов В.Н. Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны в высоту // Лесоведение. 1988. № 1. С. 33–42.
9. Меняйло Л.Н. Гормональная регуляция ксилогенеза хвойных. Новосибирск: Наука, 1987. 185 с.
10. Мокронос А.Т. Донорно-акцепторные отношения в онтогенезе растений // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 235–250.
11. Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 196 с.
12. Ронжина Е.С., Мокронос А.Т. Донорно-акцепторные отношения и участие цитокенинов в регуляции транспорта и распределения органических веществ в растениях // Физиология растений. 1994. Т. 41, Вып. 3. С. 448–459.
13. Соколова С.В., Балакишина П.О. Влияние фитогормонов на транспорт и распределение ¹⁴C-сахарозы в срезанных листьях сахарной свеклы // Физиология растений. 1992. Т. 39, Вып. 6. С. 1088–1097.
14. Чернобровка Н.П. Усвоение и распределение азота по органам у 15-летней сосны обыкновенной // Физиология растений. 1994. Т. 41, Вып. 1. С. 338–343.
15. Юшков П.И. Распределение продуктов фотосинтеза в сосне // Физиология и экология древесных растений: тр. Ин-та экологии. Вып. 43. Свердловск: Наука. Сиб. отд-ние, 1965. С. 17–23.

Поступила 16.12.10

V.N. Kononov¹, L.V. Zarubina²

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

²Vologda State Diary Academy named after N.V. Vereschagin

Impact of Nitrogen Dose on the ¹⁴C-Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests

The nitrogen dose impact on the assimilation rate of the atmospheric CO₂ and on the outflow of ¹⁴C- assimilates in pine trees at the lichen pine stands is shown. It has been revealed that the nitrogen redundant dose in the first year of a pine tree disrupts the CO₂ assimilation, outflow from the needles, locomotion of the carbonic products in a tree, and decreases productivity of a stand. in a whole.

Keywords: pine, lichen pine stands, nitrogen, dose, outflow, ¹⁴C-assimilates.

УДК 630*237

Б.В. Бабиков

С.-Петербургская государственная лесотехническая академия

Бабиков Борис Васильевич родился в 1932 г., окончил в 1958 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой почвоведения и гидромелиорации С.-Петербургской государственной лесотехнической академии, заслуженный деятель науки РФ. Имеет около 200 печатных работ в области гидрологии болот и их освоения.

E-mail: Subota_m@mail.ru



РАСХОД ВЛАГИ С ОСУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ БОЛОТ

Рассмотрены результаты 15-летних исследований водопроницаемости, стока и суммарного испарения на осушенных облесенных болотах.

Ключевые слова: водный баланс, расход влаги, сток, водомерный пост, водопроницаемость, фильтрация, суммарное испарение.

Исследованию водопроницаемости и стока с болот посвящено большое количество работ [2, 4, 5 и др.]. Часть этих исследований выполнена на болотах, используемых под сельскохозяйственное или при торфоразработках. При этом установлено снижение стока во времени, что объясняется интенсивной осадкой и уплотнением торфа по мере отвода воды. Сток с осушенных облесенных болот при выращивании высокопродуктивных насаждений изучен в меньшей степени [1 и др.], хотя очевидно, что торф на используемых под сельскохозяйственное пользование действительно уплотняется при осадке. На облесенных болотах осадка также происходит, но уплотнению препятствуют корни растений, армирующие торфяной слой.

Методика исследований

Исследования проводили круглогодично, в течении 15 лет. В основу исследований положен метод водного баланса. Сток изучали на водомерных постах с гидрометрическими водосливами, установленными на каналах осушительной сети. Сток фиксировали по уровням воды в каналах на пороге водосливов с помощью самописцев «Валдай». Объем осадков учитывали по осадкомерам с использованием данных метеопоста Гидрометеослужбы.

Объектами исследования являлись олиготрофное и мезотрофное болота с глубиной залегания торфа 1,5...3,0 м. Болота осушены открытыми каналами глубиной 1,0...1,2 м, проведенными через 65, 130 и 205 м.

Водопроницаемость торфа во время осушения определяли методом восстановления воды в скважинах после откачки. После осушения водопроницаемость почв объекта в целом рассчитывали по модулям стока, используя формулу Роте.

© Бабиков Б.В., 2012

Результаты исследования

Формирование и внутригодовое распределение стока зависит от интенсивности осушения, водопроницаемости торфа и ее изменения по глубине торфяной залежи. Полученные коэффициенты фильтрации существенно различались по глубине и типам болот. На олиготрофном болоте в верхнем слое до глубины 50 см коэффициент фильтрации в год осушения составлял 25,1 м/сут, на глубине 65...70 см снижался до 2,3 м/сут. На мезотрофном торфянике грунтовые воды располагались ниже. Коэффициент фильтрации таких торфяников на глубине 65...70 см составлял 7,9 м/сут, на глубине 73...117 см – 4,6 м/сут.

Для олиготрофного торфяника установлена слоистость и наличие деятельного и инертного горизонтов [2, 3], на мезотрофном торфянике такая слоистость не выявлена.

После осушения ситуация изменилась. По модулям стока, которые были получены по наблюдениям на водомерных постах, рассчитали коэффициенты фильтрации по формуле Роте:

$$K = qL^2/40H^2,$$

где K – коэффициент фильтрации, см/с;

q – модуль стока с 1 га, л/с;

L – расстояние между осушительными каналами, м;

H – напор, см.

Расчет коэффициентов фильтрации по модулям стока позволяет определять водопроницаемость не в какой-то точке торфяной залежи, а для всей залежи в целом. Некоторая неточность остается и в этом случае, поскольку вблизи каналов вода поступает по нижним, более плотным горизонтам. Напор вычисляли как разницу отметок уровня грунтовой воды посередине между каналами и уровня воды в каналах.

Многолетние наблюдения за стоком позволяют проанализировать изменение водопроницаемости во времени (через каждые 5 лет) по изменению коэффициентов фильтрации (табл. 1).

Таблица 1

Изменение водопроницаемости после осушения облесенных болот

Годы после осушения	Уровень грунтовых вод					
	высокий		средний		низкий	
	Напор, см	Коэффициент фильтрации, м/сут	Напор, см	Коэффициент фильтрации, м/сут	Напор, см	Коэффициент фильтрации, м/сут
Олиготрофное болото						
1...5	81	1,68	70	0,84	60	0,45
6...10	65	2,45	55	0,97	44	0,59
11...15	56	2,06	45	0,85	36	0,96
Мезотрофное болото						
1...5	101	9,60	82	2,30	62	0,96
6...10	87	16,68	72	4,66	49	1,34

Таблица 2

Распределение стока по периодам года

Тип болот	Осень (X–XI)	Зима (XII–III)	Весна (IV)	Лето (V–IX)	Итого за год
Олиготрофное	45,4/21,2	32,7/15,1	75,1/34,9	61,8/28,7	215,0/10,0
Мезотрофное	21,1/13,9	23,4/15,6	55,1/36,3	52,0/34,2	151,6/10,0

Примечания. 1. В числителе приведены данные в миллиметрах, в знаменателе – в процентах. 2. I–XII – месяцы.

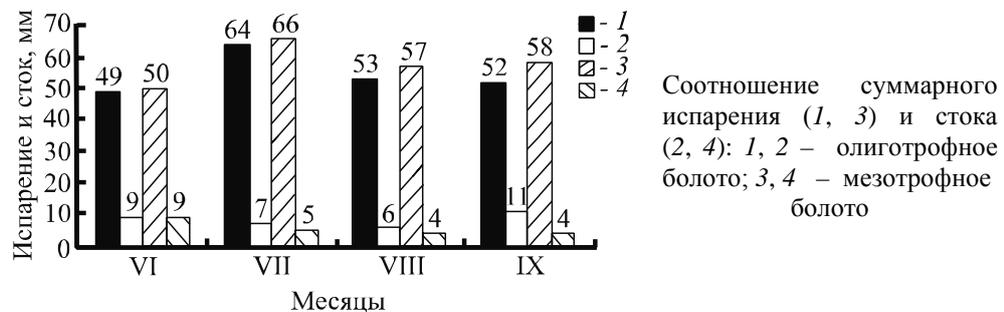
Исследования показывают, что на осушенном олиготрофном болоте после осадки торфа водопроницаемость верхних горизонтов резко снижается. С течением времени фильтрация увеличивается. На мезотрофном болоте водопроницаемость значительно выше, чем на олиготрофном, особенно в верхних горизонтах. Это можно объяснить увеличением массы корней, которые армируют торфяные горизонты.

С увеличением водопроницаемости можно было бы ожидать увеличения стока. Однако модули стока снижаются, особенно, на олиготрофном болоте.

Как видно из данных табл. 2, сток по каналам происходит круглогодично, но он различен на олиготрофном и мезотрофном болотах. Наименьший сток (около 15...16 % в год) наблюдается в зимний период, когда отводится полностью вода грунтовых запасов. Осадки в виде снега почти не пополняют почвенные влагозапасы, что приводит к повышенному стоку весной. Только за апрель отводится 35...40 % годового стока. В годы интенсивного снеготаяния сток апреля может составлять до 50 % годового стока. Значительная часть стока приходится на май: 13 % – на олиготрофном болоте, 19 % – на мезотрофном. За летний период (VI–IX) сток составляет 13...15 % от годового, что сравнимо с зимним периодом.

Основной расход влаги летом – это суммарное испарение за счет физического испарения и транспирации древостоя. На мезотрофном болоте древостой представлен сосняками 1-1а класса бонитета, на олиготрофном – 2-3 класса бонитета. Суммарное испарение за четыре месяца (VI–IX), вычисленное по уравнению водного баланса, на олиготрофном болоте составило 219 мм, на мезотрофном – 231 мм. Сток за этот период по типам болот – соответственно 34 и 23 мм.

Доля летнего стока (VI–IX) на олиготрофном и мезотрофном болотах соответственно 13 и 9 % от общего расхода влаги за этот период. Связь между стоком и суммарным испарением приведена на рисунке.



Поскольку развивающийся после осушения высокобонитетный древостой увеличивает расходы на транспирацию и суммарное испарение, можно предполагать, что осушение болот ухудшает водное питание рек. Однако сопоставление стока с болот со стоком реки в зоне исследования показало, что в летний период модули стока с болот на 50...60 % выше, чем в реке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабиков Б.В.* Экология сосновых лесов на осушенных болотах. СПб.: ИЗО «Наука», 2004. 166 с.
2. *Иванов К.Е.* Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
3. *Лопатин В.Д.* «Гладкое» болото (торфяная залежь и болотные фракции) // Ученая записка ЛТУ № 166. Серия географических наук. Вып. 9. С. 95–181.
4. *Лундин К.П.* Водные свойства торфяной залежи. Минск: Урожай, 1954. 210 с.
5. *Маслов Б.С.* Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. М.: Колос, 1970. 230 с.

Поступила 30.05.11

B.V. Babikov

S.-Petersburg State Forestry University

Water Discharge from the Wooded Bogs

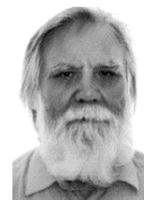
The results of the 15-years investigation of water permeability, water discharge, cumulative evaporation and water yield at the wooded bogs are described.

Keywords: hydrologic balance, water discharge, water yield, hydrometric station, water permeability, filtering, cumulative evaporation.

УДК 630*5

Г.С. Разин

Разин Геннадий Сергеевич родился в 1930 г., окончил в 1955 г. Сибирский лесотехнический институт. Имеет более 70 печатных работ в области лесоведения, лесной таксации и лесоустройства.



О ЗАКОНАХ И ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РОСТА И РАЗВИТИЯ, ЖИЗНИ И ОТМИРАНИЯ ДРЕВОСТОЕВ

Для простых древостоев сформулированы законы динамики сумм площадей крон и сумм объемов крон, а также всеобщий закон естественного роста, развития и жизни.

Ключевые слова: начальная густота, предельная сомкнутость крон, моделирование, закон динамики, всеобщий закон роста, оптимальное разреживание, устойчивость, долголетие.

Лес – это сложное образование природы, явление физико-географическое и биологическое. Лес изучается многими науками и достаточно давно, но осталось еще немало загадок и неоткрытых закономерностей. Особенно важно определить, сформулировать и математически описать законы, определяющие сущность явлений и динамических процессов в лесу.

В общем виде развитие простого одноярусного древостоя происходит следующим образом. Вначале появляется самосев, или поросль, каждое из растений формирует крону и развивается в молодое дерево. Постепенно кроны деревьев смыкаются между собой и образуют полог древостоя. В пологе помещается некоторое ограниченное количество фотосинтезирующей поверхности: листьев, хвои, мелких веточек. Деревья растут и полог движется вверх, оставляя внизу отмирающие ветви и ослабленные растения. Деревья различаются по площади и объему кроны в десятки раз, и эти различия выделяют среди них лидеров и аутсайдеров. Лидеры определяются уже в самом раннем возрасте и растут, просто увеличивая свои размеры и чаще сохраняя свое ранговое положение в древостое [1]. Причем это положение зависит именно от размеров кроны: чем она больше, тем прочнее положение дерева в древостое.

В лесоводстве и лесной таксации используется много таблиц, полученных на основе анализа и обобщения эмпирических данных и составленных для различных древесных пород и условий. Для выяснения динамики показателей конкретного древостоя необходимо проводить измерения на протяжении всей его жизни. Однако исследователи обычно располагают периодом времени лишь в несколько десятилетий и вынуждены конструировать динамический ряд для древостоев какой-либо породы из однократных и кратковременных наблюдений за состоянием по существу различных древостоев разного возраста.

В серии работ [2–8] удалось доказать, что рост, развитие и возрастная динамика древостоев происходят по некоторым всеобщим биологическим законам, имеющим в древесных насаждениях специфические особенности, которые включаются в следующем.

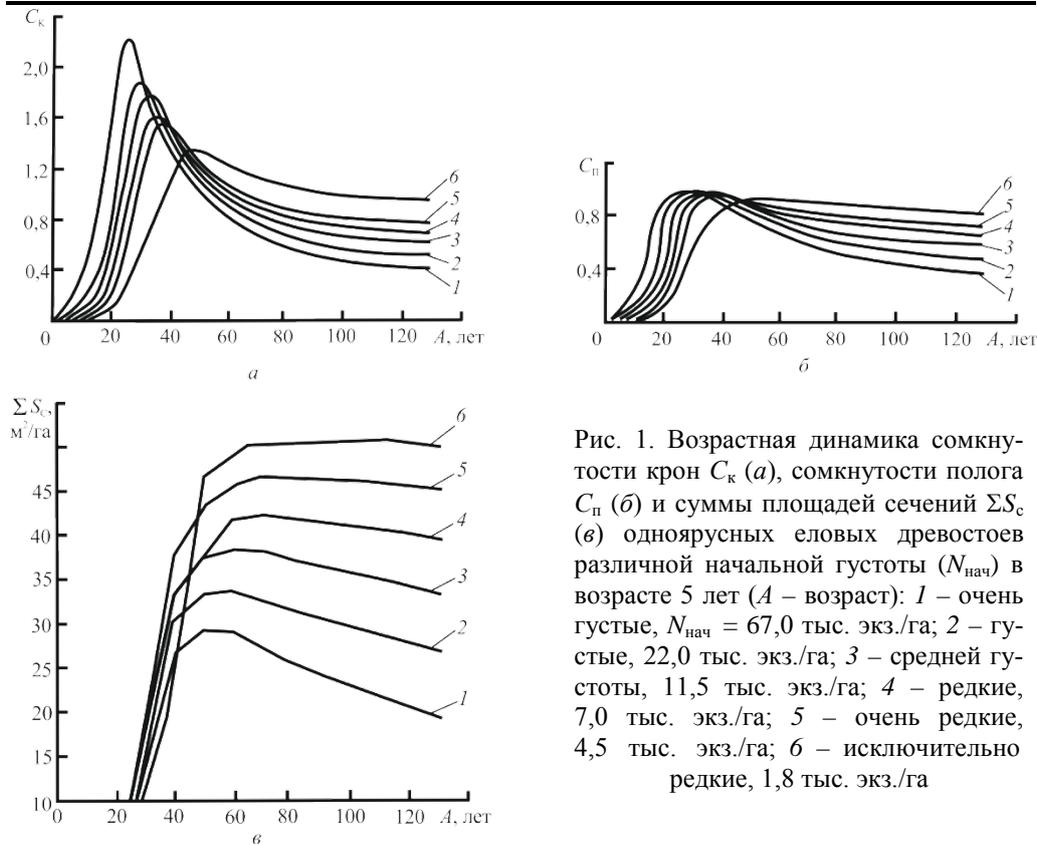


Рис. 1. Возрастная динамика сомкнутости крон C_k (а), сомкнутости полога C_n (б) и суммы площадей сечений ΣS_c (в) одноярусных еловых древостоев различной начальной густоты ($N_{нач}$) в возрасте 5 лет (A – возраст): 1 – очень густые, $N_{нач} = 67,0$ тыс. экз./га; 2 – густые, 22,0 тыс. экз./га; 3 – средней густоты, 11,5 тыс. экз./га; 4 – редкие, 7,0 тыс. экз./га; 5 – очень редкие, 4,5 тыс. экз./га; 6 – исключительно редкие, 1,8 тыс. экз./га

1. Одноярусные древостои всех пород, составов, различной начальной густоты и неравномерности расположения деревьев имеют своей целью общее стремление всех деревьев яруса к достижению предельных линейных, площадных и объемных показателей в пределах сообщества. В результате почти любой древостой однажды в жизни становится сомкнутым и достигает индивидуально-предельного состояния по этим показателям [5].

2. Достижение предельных показателей происходит в зависимости от густоты стояния растений в сообществе и может быть сформулировано в виде закона динамики суммы горизонтальных проекций крон деревьев в простых древостоях, который описан графически на рис. 1 и состоит в следующем:

чем больше начальная густота, тем раньше и при меньшей средней высоте древостои становятся предельно сомкнутыми с предельной суммой площадей горизонтальных проекций крон деревьев и тем раньше и быстрее они снижают их (размыкаются);

чем меньше начальная густота, тем позже и при больших средних высотах древостои достигают предела сомкнутости и предела сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев, тем медленнее они снижают их и дольше остаются сомкнутыми и устойчивыми [4–6].

Указанные изменения сомкнутости крон приводят к тому, что динамика абсолютной и относительной полнот древостоев оказывается аналогичной: чем больше начальная густота, тем раньше достигает своих пределов полнота, тем быстрее она снижается и остается всегда меньше, чем в изначально более редких древостоях. И наоборот, древостои с меньшей начальной густотой медленнее и позднее достигают предельных значений индивидуальной полноты, более длительное время сохраняют ее и остаются устойчивыми до преклонного возраста.

В биологическом плане интерпретация обнаруженного закона выглядит следующим образом. Возникшие одноярусные сообщества древесных растений различной густоты и неравномерности расположения деревьев обладают сильнейшим изначальным природным свойством (способностью) у каждого члена сообщества, которое можно назвать целеполаганием, или «целью» – стремлением к достижению индивидуальных пределов по протяженности (высоте, длине, толщине), а также по площади и объему.

В древостое, как сообществе растений, вышеизложенные цели проявляются в следующем порядке: а) возникает сообщество индивидуумов, которые обеспечены способностью увеличивать размеры во времени и пространстве; б) сообщество, состоящее из активных и устремленных в этих направлениях его членов (деревьев), становится обладателем суммы этих свойств в виде некоторой предельной цели.

Моделирование возрастной динамики естественных ельников различной начальной густоты, произрастающих в типах условий местопроизрастания C_2 - $C_{2,3}$ и B_2 - $B_{2,3}$ [3–6], позволило открыть связь между предельными густотой и сомкнутостью крон и достигаемыми при этом средними площадью кроны и высотой растений в древостое. Фрагмент указанной зависимости приведен в таблице.

Важно отметить, что при любых высотах и возрастах бывают состояния с предельной сомкнутостью. Оказалось, что при средней высоте 1 м сумма площадей крон деревьев может быть в 2,6 раза больше площади поверхности, на которой они расположены (предельное значение сомкнутости 2,60); т. е. крона дерева в предельном случае перекрывает не только крону второго, но и заходит в крону третьего дерева. В старшем возрасте сомкнутость может иметь значения не более 1,24 при средней высоте 20 м.

Достигнутая средняя высота древостоев ели (независимая переменная) и предельные значения сомкнутости крон, густоты и площади кроны одного дерева (фрагмент)

Показатель	Предельные значения показателей при средней высоте древостоев, м								
	1	3	5	7	9	11	13	15	20
Сомкнутость крон, м ² /м ²	2,60	1,95	1,81	1,67	1,54	1,45	1,38	1,33	1,24
Густота, тыс. шт. на 1 га	173,00	70,00	16,00	8,26	4,93	3,27	2,32	1,73	0,96
Средняя площадь кроны дерева, м ²	0,15	0,28	1,13	2,03	3,13	4,45	5,97	7,70	13,0

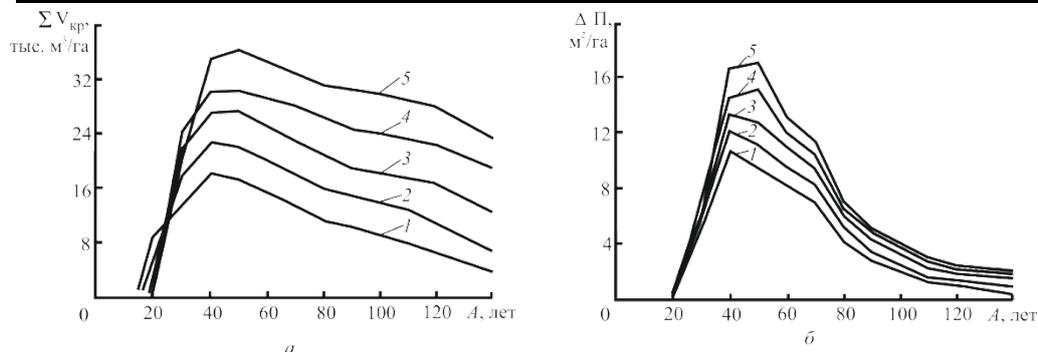


Рис. 2. Возрастная динамика еловых древостоев в зависимости от начальной густоты ($N_{нач}$): *а* – сумма объемов крон ($\Sigma V_{кр}$); *б* – текущий прирост общей производительности ($\Delta П$) (см. обозначения на рис. 1)

Достижение таких предельных значений в насаждении воспринимается наблюдателем как древостой с почти полным отсутствием растительности в напочвенном покрове; тип леса определить затруднительно и условно он может быть назван «мертвопокровным».

Открытая для площадных показателей закономерность и закон динамики суммы горизонтальных проекций крон деревьев в простых древостоях имеют свое продолжение в показателях объема. Наиболее простая модель сообщества деревьев – одноярусный древостой из одной древесной породы, или простой древостой. Рассмотрим действие открытого закона в таком сообществе, но уже в его более сложном варианте, когда исследуются объемные показатели.

Установлено, что с некоторым запаздыванием аналогичные процессы наблюдаются в изменении объемов крон, которые можно сформулировать в виде закона динамики суммы объемов крон деревьев простых древостоев, который иллюстрируют графики, приведенные на рис. 2. Суть его заключается в следующем: чем больше густота простых древостоев в начале жизни, тем раньше они достигают индивидуального состояния с предельной суммой объемов крон деревьев (и, как следствие, с предельным запасом древесины). Затем происходит естественное изреживание с отпадом части деревьев, и сумма объемов крон снижается. Снижается и запас древесины наличного древостоя; общая производительность таких древостоев оказывается значительно ниже по сравнению с древостоями менее густыми. При меньшей начальной густоте состояние с предельной суммой объемов крон деревьев и с предельным запасом древесины наступает позднее. При «самоизреживании» у них медленнее снижается сумма объемов крон и соответственно запас древостоя; в итоге и общая производительность у них будет больше. Состояние предельных сумм объемов крон наступает через 10...25 лет после предельной сомкнутости по сумме площадей крон (см. рис. 1, *а*, *б* и 2, *а*).

Следствием последнего закона является проявляющаяся перегруппировка древостоев с различной начальной густотой по всем показателям: сомкнутости, полноте, сумме объемов крон деревьев, запасам древесины и общей производительности.

В интегрированном виде объединение двух описанных выше законов позволяет сформулировать всеобщий закон роста, развития и жизни одноярусных естественных древостоев, который утверждает, что чем больше начальная густота древостоев, тем меньше по размерам и объему в них деревья; поэтому такие древостои хуже растут и с возрастом оказываются низкосомкнутыми, менее полными и низкопроизводительными по сравнению с теми, где меньше начальная густота. Густые древостои плохо противостоят неблагоприятным факторам и быстрее распадаются, чем менее густые [3–5].

Все вышеизложенное о влиянии начальной густоты на возрастную динамику относится также ко всем древостоям лесных культур, имеющих свои особенности динамики: лучший рост в молодости и часто большая неравномерность расположения деревьев, которая приводит к временно-ступенчатому наступлению предельной сомкнутости крон, что следует всегда учитывать [7, 8].

Сложные древостои тоже подчиняются всеобщему закону в пределах каждого яруса. Здесь имеются свои особенности. Нижерасположенный ярус напрямую зависит от сомкнутости верхнего яруса. При их выращивании нужно соблюдать принцип: чем выше ярус, тем меньше сомкнутость крон должна быть в нем (для обеспечения роста деревьев нижних ярусов).

Одноярусные древостои, преодолевая высокую и предельную сомкнутость и плотность крон по площади и объему путем вынужденного «самоуменьшения» размеров у всех деревьев с изменением морфогенеза формирования (строения) стволов, а затем и естественного изреживания, постепенно теряют природную способность адекватно реагировать на изменение человеком их текущей густоты, сомкнутости и полноты. Поэтому рубки ухода, выполняемые с опозданием (после возраста предельной сомкнутости) не приводят к положительным результатам, а позволяют лишь своевременно использовать древесину, неизбежно идущую в отпад [4].

В спелых и перестойных (часто и приспевающих) древостоях причиной низкой сомкнутости крон и полноты чаще всего является прохождение ими состояния предельной сомкнутости ввиду большой начальной и последующей их густоты в молодости, несвоевременных и недостаточно интенсивных рубок ухода. Проследить такую длительную связь сложно [2–4, 8].

Рубки ухода в молодняках и даже первые прореживания следует выполнять независимо от возможности сбыта продукции рубок. Своевременно разреженные древостои имеют перспективу увеличения на 1-2 класса бонитета.

При своевременном, регулярном и оптимальном разреживании древостоев удается избежать высоких и предельных величин сомкнутости крон древостоев, что сохраняет их природное свойство – повторное достижение предельных состояний, сохраняющихся долгие годы: после каждого оптимального снижения густоты древостой будет восстанавливать и увеличивать сомкнутость крон, полноту и запас древесины. Именно эта способность древостоя, действуя как закон, позволяет человеку значительно повышать продуктивность, производительность, устойчивость и долговечность древостоев любых пород, составов и густоты [2–4, 7, 8].

Важно отметить, что средние значения диаметра крон и коэффициента формы ствола как бы «записывают историю» формирования насаждения в условиях низкой или высокой густоты, которая отражается в виде либо сбежистых и ширококронных, либо малосбежистых и узкокронных деревьев. По этим признакам можно оценивать древостои по истории развития и реконструировать показатели густоты и ход роста их в прошлом.

Только осознавая вышеизложенное и принимая соответствующие меры по оптимальному уходу за лесом, можно действительно улучшить его состояние и повысить продуктивность в несколько раз.

Для правильного стратегического мышления при выращивании леса необходимо освободиться от догм и заблуждений, заменив их знаниями о достаточно простом законе роста и развития древостоев, который сформулирован выше.

В дальнейшем предстоит изучить проявление всеобщего закона естественного роста, развития и жизни одноярусных древостоев в насаждениях всех пород и составов, разработав модели динамики с учетом начальной густоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маслаков Е.Л.* Об особенностях роста и дифференциации деревьев в молодняках сосны // Восстановление и мелиорация лесов Северо-Запада РСФСР. Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. С. 53–61.
2. *Разин Г.С.* Динамика роста, продуктивности и производительности ельников различной густоты // Лесн. хоз-во. 1980. № 2.
3. *Разин Г.С.* Динамика сомкнутости одноярусных древостоев // Лесоведение. 1979. № 1.
4. *Разин Г.С.* Изучение и моделирование хода роста древостоев различной густоты (на примере ельников Пермской области): метод. рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. 43 с.
5. *Разин Г.С.* Новое в исследовании сомкнутости древостоев // Материалы науч. конф. по итогам НИР за 1974 г. Йошкар-Ола: Изд-во МарПТИ, 1975.
6. *Разин Г.С.* Об основной закономерности морфогенеза древостоев // Материалы науч. конф. по итогам НИР за 1974 г. Йошкар-Ола: Изд-во МарПТИ, 1975.
7. *Разин Г.С., Рогозина В.П.* Динамика роста и продуктивности древостоев лесных культур разной густоты // Общие проблемы биогеоценологии: тез. докл. II Всесоюз. совещания, Москва, 11–13 нояб. 1986 г. М.: АН СССР, Науч. совет по проблемам биогеоценологии и охраны природы, 1986.
8. *Разин Г.С.* Способ определения оптимальной текущей густоты древостоев при их целевом выращивании // Лесн. журн. 1981. № 3. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 21.04.09

G.S. Razin

Laws and Mechanisms of Growth and Development, Bios and Die-Off of Wood Stands

This article presents validated regularities for a simple tree stand: Laws of the crown area sums and crown volume sums dynamics. General law of natural growth, development and bios.

Keywords: incipient thickness of stand, maximum crowns density, modeling - Law of dynamics, overall growth law, optimal thinning, sustainability, macrobiosis.

УДК 630*114.35:630*181.32(470.22)

Н.И. Германова, М.В. Медведева, А.В. Мамай

Институт леса Карельского научного центра РАН

Медведева Мария Владимировна родилась в 1969 г., окончила в 1990 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института леса КарНЦ РАН. Имеет более 40 печатных работ в области биологической диагностики почв естественных и антропогенно нарушенных биогеоценозов.
E-mail: mariamed@krc.karelia.ru



Мамай Анастасия Витальевна родилась в 1984 г., окончила в 2006 г. Петрозаводский государственный университет, стажер-исследователь лаборатории лесного почвоведения и микробиологии, аспирант Института леса КарНЦ РАН. Область научных интересов – микробная трансформация азота в лесных почвах Карелии.
E-mail: mariamed@krc.karelia.ru



ДИНАМИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ЛИСТОВОГО ОПАДА В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КАРЕЛИИ

Рассмотрены региональные особенности процесса деструкции основных компонентов опада в коренном сосняке черничном и производных, возникших после сплошной рубки, в сосновом и березовом насаждениях заповедника «Кивач». Предложены индикаторы оценки скорости разложения листового опада основных устойчивых видов.

Ключевые слова: опад хвои сосны и листьев березы, разложение, потеря массы, химический состав, целлюлоза, негидролизуемый остаток, элементы минерального питания.

Характерной особенностью функционирования бореального леса является постепенное накопление на поверхности почвы отмерших растительных остатков в виде лесной подстилки. Масса и состав лесных подстилок тесно взаимосвязаны со структурой фитоценоза и определяются различиями в темпах продукционных и деструкционных процессов. Индикатором состояния и продуктивности лесных экосистем служат сформировавшиеся в процессе ценогенеза почвенные микробные сообщества. Различные лесохозяйственные мероприятия, изменение климата, загрязнение почв могут как активизировать, так и ослаблять микробиологическую деятельность, влияя на интенсивность биологического круговорота и эволюционные процессы. Для изучения функционирования лесных фитоценозов, обоснования прогноза эволюции почв в связи с изменением экологических условий необходимо знать количественные характеристики биологического круговорота как в коренных, так и в производных лесных биогеоценозах.

Комплексные стационарные исследования лесных экосистем в заповеднике «Кивач» начаты в середине 80-х годов прошлого столетия и продолжаются по сегодняшний день. В данной работе приводятся результаты многолетнего полевого модельного опыта по изучению разложения опада хвои сосны и листьев березы в коренных и производных насаждениях разного состава и возраста – сосняках черничных (160 и 45 лет) I класса бонитета на иллювиально-железистом песчаном подзоле с запасом подстилки 48 и 37 т/га соответственно. Березняк разнотравный (45 лет) I класса бонитета сформировался после рубки сосняка на поверхностно-подзолистой песчаной почве. Масса подстилки не превышает 33 т/га.

Скорость разложения растительных остатков определяли методом «изоляции» в пакетах из капроновой ткани в 10-кратной повторности, размещенных на поверхности почвы и под подстилкой в межкрупном пространстве. Начало опыта – осень 1985 г., период экспозиции – 1; 2,5; 3,5 года. Опыт по годичному разложению остатков хвои сосны и листьев березы в этих насаждениях повторяли неоднократно.

В качестве критерия интенсивности разложения использовали убыль массы опада хвои сосны и листьев березы. Минерализационные потери в процессе разложения остатков растений оценивали по изменению содержания химических элементов в разлагающемся материале с последующим пересчетом к их исходному количеству.

Содержание азота определяли методом Кьельдаля, углерода – спектрофотометрически, зольных элементов в 1985–1989 гг. – методом неполного зольного анализа [1]. В 2006-07 гг. определение К, Р осуществляли методом пламенной фотометрии, Са, Mg – атомно-абсорбционной спектрофотометрией в аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН, целлюлозы и негидролизуемого остатка – по [8].

По скорости трансформации растительного опада можно судить об интенсивности биологического круговорота и формировании лесных подстилок в насаждениях. Общая масса листового и веточного опада сосны и березы и растений напочвенного покрова в сосняках черничных (160 и 45 лет) и березняке разнотравном (45 лет) составляет 4100, 3200 и 3200 кг/га соответственно. В перестойном сосняке общее количество опада значительно больше, чем на других участках. Он представлен на 76 % трудноразлагаемыми компонентами. Доля последних сокращается до 65 % в 45-летнем сосняке и составляет всего 10 % в березняке (ветви березы) [3].

В общей массе опада в коренном и производном сосняках хвои 1130 и 1180 кг/га, что соответствует 27 и 37 %, листьев березы – 300 кг/га или 7 и 9 %, в березняке разнотравном листьев березы – 1500 кг/га или 47 %.

Интенсивность биотрансформации опада возрастает в 45-летних сосновых и березовых насаждениях по мере изменения химического состава растительных остатков и увеличения степени их доступности для разложения [6]. В сосняках общие потери массы растительных остатков при разложении за год равны 30, в березовом насаждении – 50 %.

Интенсивность разложения зависит от химического состава растений и условий, в которых эти процессы протекают [2, 4, 5, 7–10]. Низкая скорость разложения опада хвойных деревьев по сравнению с опадом лиственных пород и причины, ее обусловившие, хорошо известны [11, 12]. Основными деструкторами опада хвойных растений являются микроскопические грибы, обладающие высокой эффективностью разложения подстилок в сосняках; листового опада в березняках среднетаежной подзоны – бактерии, при определенной доле участия почвенной микрофауны [6].

Максимальная потеря массы рассматриваемых компонентов опада отмечена в течение первого года разложения. За первый год опад хвои сосны в зависимости от структуры фитоценоза и почвенных условий теряет от 30 до 52 %, опад листьев березы – от 14 до 68 % исходной массы. Более активно остатки растений разлагаются под подстилкой березняка, менее всего – на поверхности почвы в перестойном сосновом насаждении. Затем темпы минерализации опада резко снижаются. На интенсивность разложения свежеопавшей хвои сосны, в которой есть легкодоступные для почвенной биоты элементы питания, значительно влияют экологические условия. В более поздние сроки темпы разложения опада хвои сосны в сосняках черничных разного возраста и березняке выравниваются: за 2,5 года в них подверглось разложению 51...56, за 3,5 года – 61...64 % его исходной массы. Условия среды в этот период уже в меньшей степени влияют на процессы разложения, скорость минерализации в большей степени на данном этапе зависит от химического состава остатков хвои.

Высокая биологическая активность почвы и маломощный слой хорошо разложившейся подстилки в березняке разнотравном свидетельствуют об активно идущих здесь процессах минерализации органического вещества. При благоприятном сочетании гидротермических факторов (под подстилкой в 1985–86 гг.) здесь разложилось около 70 % свежеопавших листьев березы, при менее благоприятных условиях (по данным трех лет) потеря массы за первый год разложения колеблется от 41 до 49 %. В сосняках листья березы разлагаются значительно хуже: за тот же период (1985–86 гг.) под подстилкой разложилось 36...40 % свежеопавших листьев, в 1986–87 гг. на поверхности почвы – 14 %, под подстилкой – 22 %, в 1988–89 гг. соответственно 23 и 39 %, в 1990–91 гг. на поверхности почвы – 36 %.

Скорость разложения опада хвои сосны и листьев березы, определенная по потере массы за некоторый промежуток времени, не отражает специфики их минерализации в сосновых и березовых насаждениях, обусловленной различиями в химическом составе и биологической активности почв. Для характеристики процесса разложения исследуемых компонентов опада наиболее показательна динамика содержания в них негидролизующих веществ. Легкогидролизующие соединения минерализуются достаточно быстро, обеспечивая одинаковую начальную скорость разложения растительных остатков разной видовой принадлежности. Запас углерода за первый год разложения в хвое сосны уменьшился на 32...44, целлюлозы – на 38...48 %, что коррелирует с показателями общей потери массы (табл. 1, рис. 1), а негидролизующий остаток увеличился от 2 % при разложении хвои сосны в березняке и до 5 и 21 % соответственно в сосняках 45 и 160 лет по отношению к исходному количеству.

Таблица 1

Показатели интенсивности разложения опада хвои сосны в разных условиях среды*

Период разложения, мес.	Масса опада	Сумма зольных элементов	Ca	K	Mg	P	N	C	Целлюлоза	Негидролизуемый остаток
160-летний сосняк черничный										
Свежий	1130**	15,6	22,5	2,3	15,2	0,8	14,7	593	186	295
опад	<u>771</u>	<u>17,3</u>	<u>23,7</u>	<u>1,5</u>	<u>11,0</u>	<u>1,0</u>	<u>12,0</u>	<u>394</u>	<u>116</u>	<u>357</u>
12	68	111	105	65	72	125	82	66	62	121
30	<u>550</u>	<u>14,0</u>	<u>10,6</u>	<u>0,4</u>	<u>2,6</u>	<u>0,7</u>	<u>10,3</u>	<u>278</u>	<u>50</u>	<u>280</u>
	49	90	47	17	17	87	70	47	27	95
45-летний сосняк черничный										
Свежий	1180**	16,3	23,4	2,4	15,9	0,8	15,3	619	195	308
опад	<u>711</u>	<u>15,9</u>	<u>21,8</u>	<u>1,3</u>	<u>10,2</u>	<u>0,9</u>	<u>13,3</u>	<u>363</u>	<u>100</u>	<u>323</u>
12	60	97	93	54	64	112	87	59	51	105
30	<u>577</u>	<u>17,4</u>	<u>10,6</u>	<u>0,4</u>	<u>5,2</u>	<u>0,8</u>	<u>10,6</u>	<u>277</u>	<u>67</u>	<u>287</u>
	49	107	45	17	33	100	69	45	34	93
42	<u>455</u>	<u>9,7</u>	<u>6,0</u>	<u>0,5</u>	<u>4,9</u>	<u>0,7</u>	<u>8,9</u>	<u>193</u>	<u>38</u>	<u>238</u>
	39	59	26	21	31	87	58	31	19	77
45-летний березняк разнотравный										
Свежий	9,05***	0,125	0,18	0,018	0,12	0,006	0,12	4,74	1,49	2,36
опад	<u>5,25</u>	<u>0,140</u>	<u>0,15</u>	<u>0,016</u>	<u>0,09</u>	<u>0,008</u>	<u>0,09</u>	<u>2,65</u>	<u>0,78</u>	<u>2,41</u>
12	58	112	85	89	72	133	76	56	52	102
30	<u>4,28</u>	<u>0,080</u>	<u>0,10</u>	<u>0,003</u>	<u>0,01</u>	<u>0,006</u>	<u>0,08</u>	<u>2,17</u>	<u>0,44</u>	<u>2,13</u>
	47	64	54	17	12	100	63	46	29	90
42	<u>3,41</u>	<u>0,230</u>	<u>0,06</u>	<u>0,005</u>	<u>0,03</u>	<u>0,005</u>	<u>0,07</u>	<u>1,44</u>	<u>0,33</u>	<u>1,71</u>
	38	184	33	28	29	83	62	30	22	72

*В числителе – масса в килограммах на 1 га, в знаменателе – процент от исходной массы.

**Насаждения, кг/га.

***Модельный опыт, г.

Через 2,5 года разложения негидролизующие соединения составляют 50 % массы опада хвои сосны, по отношению к исходному количеству – 90...95 %, целлюлоза – 27...34 %, углерод – 46 %. Лишь к середине третьего года после закладки опыта в опаде заметно снизилось количество углерода и целлюлозы, масса негидролизующего остатка уменьшилась на 23...28 % (по отношению к исходным показателям). Процесс разложения трудногидролизующих соединений хвои протекает с одинаковой интенсивностью в сосняках и березняке.

Как известно, почвенная биота последовательно атакует легкодоступные части растительного опада, затем менее доступные и в последнюю очередь труднодоступные. Таким образом, с увеличением периода разложения негидролизующий остаток опада хвои сосны представляет особо устойчивую к биодеструкции массу. В результате разложения опада хвойных древесных растений образуется грубый гумус типа мор [12]. Гумификация опада хвои сосны начинается через 7 лет после поступления его на почву [11].

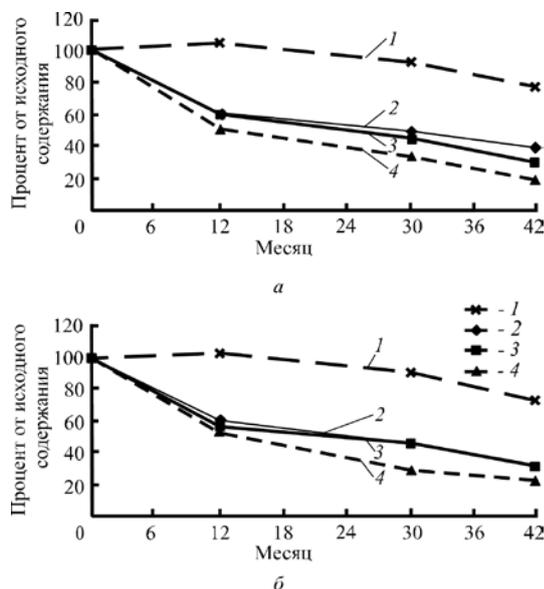


Рис. 1. Интенсивность разложения и изменение органического вещества хвои сосны в сосняке черничном 45-летнем (а) и березняке разнотравном 45-летнем (б): 1 – негидролизуемый остаток; 2 – общая масса; 3 – углерод; 4 – целлюлоза

Негидролизуемый остаток листового опада березы менее устойчив к биологической деструкции, за первый год разложения его количество в опаде в зависимости от состава и возраста насаждений снижается по отношению к исходному на 37...71 % (табл. 2). Эдафические условия оказывают заметное влияние на темпы и характер разложения листьев березы как на начальной, так и на более поздних стадиях процесса. В сосняках опад листьев березы разлагается значительно медленнее, чем в березняке. В березняке при благоприятных экологических условиях к концу первого года разложения в опаде листьев березы наиболее трудноразлагаемых компонентов (целлюлоза, негидролизуемые соединения) остается по 25 % от их исходной массы, в сосняках через 3,5 года разложения в листьях березы остаток состоит из 25 % целлюлозы и примерно 40 % негидролизуемого остатка (рис. 2). Со свежим опадом листьев березы в березовом насаждении поступает целлюлозы и негидролизуемого остатка соответственно около 200 и 800 кг/га, при быстром разложении опада в 1985-86 гг. их масса уменьшилась до 45 и 240 кг/га, об особой устойчивости оставшихся частей этих компонентов говорит очень маленькая потеря массы за последующие 2,5 года разложения (2 %).

Другим показателем скорости разложения растительного опада и интенсивности биологического круговорота в сосновых и березовых лесах региона может служить скорость высвобождения из него азота и зольных элементов. Опад хвои сосны значительно беднее опавших листьев березы азотом и зольными элементами, соответственно их масса в этих компонентах растительного опада различна (см. табл. 1, 2). В сосняках 160 и 45 лет с опадом хвои поступает 30 и 32, с листовым опадом березы – 26 кг азота и зольных элементов на 1 га. За год из хвои на 1 га высвобождается соответственно 1,0 и 2,4 кг, из листьев березы – соответственно 8 и 11 кг химических элементов. По отношению к исходному количеству за год из хвои сосны уходит калия 35...45, магния 30...35, азота 13...18 %, при этом общая масса зольных элементов и масса фосфора не уменьшаются, относительно

Таблица 2

**Показатели интенсивности разложения листового опада березы
в разных условиях среды**

Период разложения, мес.	Масса опада	Сумма зольных элементов	Ca	K	Mg	P	N	C	Целлюлоза	Негидролизуемый остаток
160-летний сосняк черничный										
Свежий опад	300	20,2	9,9	0,5	3,4	0,3	5,7	139	40	163
12	<u>181</u>	<u>14,9</u>	<u>4,9</u>	<u>0,2</u>	<u>2,2</u>	<u>0,2</u>	<u>3,3</u>	<u>92</u>	<u>18</u>	<u>96</u>
	60	74	49	40	65	67	58	66	45	59
42	<u>126</u>	<u>6,5</u>	<u>2,2</u>	<u>0,2</u>	<u>1,4</u>	<u>0,2</u>	<u>2,5</u>	<u>54</u>	<u>11</u>	<u>62</u>
	42	32	22	40	41	67	44	39	27	38
45-летний сосняк черничный										
Свежий опад	300	20,0	9,9	0,5	3,4	0,3	5,7	139	40	162
12	<u>191</u>	<u>10,8</u>	<u>4,1</u>	<u>0,2</u>	<u>2,5</u>	<u>0,2</u>	<u>3,7</u>	<u>94</u>	<u>20</u>	<u>102</u>
	64	54	41	40	73	67	65	68	50	63
42	<u>120</u>	<u>6,2</u>	<u>2,1</u>	<u>0,2</u>	<u>1,3</u>	<u>0,2</u>	<u>2,4</u>	<u>51</u>	<u>10</u>	<u>59</u>
	40	31	21	40	38	67	42	37	25	36
45-летний березняк разнотравный										
Свежий опад	1500	101,0	49,6	2,5	17,2	1,5	29,6	696	202	813
12	<u>476</u>	<u>142,4</u>	<u>18,5</u>	<u>0,8</u>	<u>8,3</u>	<u>0,6</u>	<u>9,9</u>	<u>178</u>	<u>46</u>	<u>240</u>
	32	141	37	32	48	41	35	25	23	29
42	<u>447</u>	<u>117,3</u>	<u>9,7</u>	<u>0,5</u>	<u>4,8</u>	<u>0,6</u>	<u>9,7</u>	<u>160</u>	<u>36</u>	<u>213</u>
	30	116	20	20	28	39	33	23	18	26

*В числителе – масса в килограммах на 1 га, в знаменателе – процент от исходной массы.

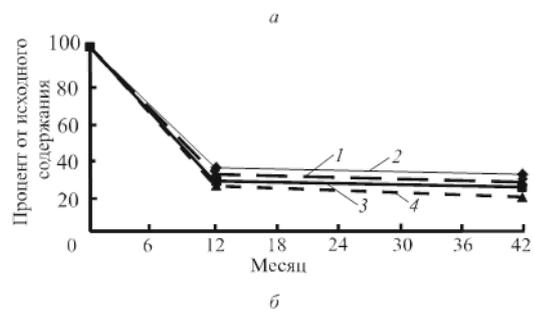
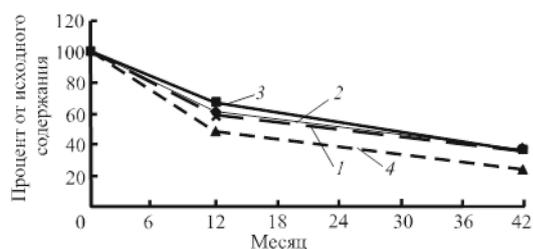


Рис. 2. Интенсивность разложения и изменение органического вещества листьев березы в сосняке черничном 45-летнем (а) и березняке разнотравном 45-летнем (б) (обозначения приведены на рис. 1)

высоким остается содержание кальция. Через 2,5 года разложения отмечено заметное снижение калия и магния в опаде хвои сосны. Определился следующий порядок высвобождения из него химических элементов: $K > Mg > Ca > N > P$. К середине четвертого года разложения как в сосняках, так и в березняке в полуразложившейся хвое сосны закреплено до 90 % фосфора, 40 % азота и около 20...30 % калия, кальция, магния (от исходного количества). Химический состав опада хвои сосны после 3,5 лет разложения свидетельствует о затяжном характере его деструкции. За этот период разлагается 60 % исходной массы опада, половину массы остатка составляют негидролизуемые соединения высокой степени устойчивости. В растительных остатках на этой стадии разложения закреплено еще значительное количество азота и зольных элементов.

Со свежеепавшими листьями березы в березняке разнотравном на 1 га почвы поступает 130 кг зольных элементов и азота (табл. 2). Их высвобождение из листьев в сосновых и березовых насаждениях идет с разной скоростью. В березняке под подстилкой за год разлагается 68 % массы опада, примерно с такой же интенсивностью высвобождаются из него химические элементы, убыль массы которых за первый год разложения составляет 52...68 % от исходной. Скорость высвобождения элементов падает в ряду: $K - N - Ca - P - Mg$. Через 3,5 года разложения в остатке листьев березы еще содержится 20 % калия и кальция, 30 % магния и азота, 40 % фосфора (от исходного количества). В сосняках листья березы разлагаются с меньшей скоростью и более медленным высвобождением химических элементов, за год масса элементов в опаде уменьшается на 33...60 %, здесь интенсивнее высвобождаются калий и кальций, медленнее – азот и фосфор.

Темпы и характер разложения опада хвои на поверхности почвы в перестойном сосняке черничном 20 и 15 лет назад очень схожи, потеря массы опада и углерода за год не превышает 32...34 % (табл. 3). В 2006-07 гг. в этих же условиях хвоя сосны разложилась за год на 52 %, при этом высвободилось, %: углерода – 48, калия – 62, фосфора – 33, азота – 13, в целом зольных элементов – 34. Этот любопытный факт заслуживает особого внимания и нуждается в дополнительной проверке и подтверждении. Скорость разложения листьев березы на поверхности почвы в березовом насаждении в течение 1991-92 и 2006-07 гг. была практически одинакова, но ниже, чем под подстилкой в 1985-86 гг. Интенсивность высвобождения азота и зольных элементов из листьев березы была всегда выше, чем из хвойного опада.

В ходе многолетних исследований на территории заповедника «Кивач» выявлены региональные особенности деструкции листового опада растений в сосновых и березовых насаждениях, заключающиеся в замедленных темпах трансформации органической массы растительных остатков, доминирующих в составе древостоев, и их консервации на длительный срок в составе лесных подстилок. В сосняках черничных 160- и 45-летнего возраста за год разлагается 30...40 % свежего опада хвои сосны и около 40 % опада листьев березы, в последующие 2,5 года разлагается еще около 20 % массы опада хвои сосны и листьев березы.

Таблица 3

**Изменение (% от исходного) массы опада и химических элементов
в процессе разложения за 1 год**

Показатель	Хвоя сосны			Листья березы		
	1985-1986 гг.	1991-1992 гг.	2006-2007 гг.	1985-1986 гг.	1991-1992 гг.	2006-2007 гг.
Масса хвои и листьев	-32	-34	-52	-68	-46	-49
C	-32	-33	-48	-74	-41	-46
N	-18	Не опр.	-13	-65	Не опр.	-32
P	+25	-37	-33	-59	-56	-56
K	-35	-19	-62	-68	-90	-60

Примечание. Хвоя сосны – в коренном сосняке черничном, листья березы – в березняке разнотравном.

Условия среды оказывают заметное влияние на темпы разложения опада хвои сосны на начальной стадии процесса. В более поздние сроки темпы его деградации в сосняках черничных разного возраста и березняке разнотравном выравниваются. Листья березы активно разлагаются в березовом насаждении, где потеря массы за год при среднем значении 40...50 % может достигать 70 %. В сосняках листья березы разлагаются значительно хуже: в отдельные годы за год разлагается до 20 % исходной массы опада.

Потеря массы опада хвои в процессе разложения коррелирует со снижением в ней массы углерода и целлюлозы и не отражает динамики содержания негидролизуемого остатка. Его масса в хвое через год разложения составляет 105...120 % по отношению к исходному количеству и остается высокой в течение 3,5 лет, что говорит о затяжном характере разложения и большом участии лигнифицированного остатка хвои в формировании подстилок сосняков.

Разложение опада листьев березы в березняке разнотравном при благоприятных условиях среды сопровождается одинаковой убылью его общей массы, массы углерода, целлюлозы и негидролизуемого остатка (70...77 % за год). В сосняках процессы разложения устойчивых углеродсодержащих соединений листьев березы в этот же период протекают в 2 раза медленнее.

Круговорот азота и зольных элементов в сосняках черничных характеризуется как замедленный. Их ежегодный возврат на почву с опадом хвои составляет около 30 кг/га, за год разложения из хвои высвобождается 35...45 % калия, 30...35 % магния, 13...18 % азота, при этом количество фосфора и общая сумма зольных элементов не снижаются. К середине четвертого года разложения в хвое закреплено еще значительное количество фосфора и азота.

В березовом насаждении заметно выше масса поступивших с опадом азота и зольных элементов, а также скорость их высвобождения. Через год разложения в листьях березы остается 30...50, через 3,5 года – 20...40 % азота и зольных элементов от исходного количества. Таким образом, листья березы играют важную роль в биологическом круговороте веществ в сосновых биогеоценозах, поставляя на почву многократно большее в сравнении с хвоей сосны доступных элементов минерального питания растений.

Полученные данные помогут оценить изменения в биогеоценозе, вызванные антропогенными и природными факторами, и с большой долей вероятности спрогнозировать их влияние на процессы трансформации органической массы растительного опада в лесах региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеева Д.Н.* Пламенно-фотометрический и тригонометрический методы определения кальция в растениях // Почвоведение. 1965. № 5. С. 63.
2. *Ведрова Э.Ф.* Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение. 1997. № 2. С. 216–223.
3. *Германова Н.И.* Разложение опада как показатель интенсивности круговорота элементов в лесных насаждениях южной Карелии // Лесоведение. 2000. № 3. С. 30–35.
4. *Германова Н.И., Саковец В.И.* Почвенно-биологические процессы в осушенных лесах Карелии. Петрозаводск, 2004. 188 с.
5. *Гришина Л.А., Копчик Г.Н.* Динамика химического состава растительных остатков при разложении // Общие проблемы биогеоценологии: Материалы II Всесоюз. совещ. М., 1986. С. 229–230.
6. *Загуральская Л.М.* Микробная трансформация органического вещества в лесных почвах Карелии. СПб.: Наука, 1993. 136 с.
7. *Кулагина М.А.* Биологический круговорот веществ в лесных биогеоценозах среднего Приангарья // Общие проблемы биогеоценологии: Материалы II Всесоюз. совещ. М., 1986. С. 186–188.
8. *Ястрембович Н.И., Калинин Ф.Л.* Определение углеводов и соединений азота в одной навеске растительного материала // Науч. тр. УкрСХА. 1962. Вып. 23. С. 119–126.
9. *Dziadowiee H.* The decomposition of plant litter fall in an oak-linden-hornbeam forest and an oak-pine mixed forest of the Bialowieza National Park // Acta Soc. Bot. Pol. 1987. Vol. 56. P. 169–185.
10. *Edmonds R.L.* Decomposition rates and nutrient dynamics in small-diameter woody litter in four forest ecosystems in Washington, USA // Can. J. Forest Res. 1987. Vol. 17, N 5. P. 499–509.
11. *Kendricr W.B.* The time factor in the decomposition of coniferous leaf litter // Can. J. Bot. 1959. Vol. 37, N 5. P. 907–912.
12. *Millar C.S.* Decomposition of coniferous leaf litter // Biology of Plant Litter Decomposition. London; New York, 1974. Vol. 2. P. 105–128.

Поступила 18.05.09

N.I. Germanova, M.V. Medvedeva, A.V. Mamay
Institute of Forestry, Karelian Scientific Center of RAS

Dynamics of the Needle-Leaf Tree Waste Destruction in the Stands of Medium Boreal Karelia

This work considers the regional features of the basic varieties of tree waste destruction process in the autochthonous whortleberry pine forest and the derived species emerged after clear cuttings, pine and birch stands at the “Kivach” Nature Reserve. Destruction pace indicators of the sustained forms of the tree waste are suggested.

Keywords: pine needles and birch leaves tree waste, destruction, mass loss, chemical composition, cellulose, unhydrolyzable debris, mineral nutrition.



УДК 625.7:630*377.7(075.8)

Д.Н. Афоничев, В.А. Морковин, А.А. Занин

Воронежская государственная лесотехническая академия

Афоничев Дмитрий Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1995 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры транспорта леса и инженерной геодезии ВГЛТА. Имеет более 190 печатных работ в области совершенствования конструкций и систем автоматизированного проектирования сооружений транспорта леса.
E-mail: dmafonichev@yandex.ru



Морковин Владимир Александрович родился в 1963 г., окончил в 1985 г. Воронежский сельскохозяйственный институт, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры транспорта леса и инженерной геодезии Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 45 научных работ в области сухопутного транспорта леса и инженерной геодезии, совершенствования процессов геодезических работ при строительстве и эксплуатации лесных дорог.
Тел.: 8(4732) 53-70-16



Занин Александр Андреевич родился в 1982 г., аспирант кафедры транспорта леса и инженерной геодезии Воронежской государственной лесотехнической академии, инженер Воронежского филиала ОАО «ГипродорНИИ». Имеет 10 научных работ в области сухопутного транспорта леса, совершенствования конструкции и систем автоматизированного проектирования нежестких дорожных одежд.
Тел.: 8(4732) 53-70-16



ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА УЧАСТКАХ МАЛЫХ НАСЫПЕЙ

Рассмотрены четыре случая дифференцированного расчета объема земляных работ на участке малой насыпи в зависимости от рабочих отметок крайних сечений призматоида и толщины снятия растительного грунта. Приведенные аналитические зависимости для расчета объемов земляных работ по отдельным элементам земляного полотна позволяют установить потребность в грунтах различного качества для его возведения, разработать технологические процессы строительства, выполнить сравнение различных конструкций дорожных одежд.

Ключевые слова: лесная дорога, земляные работы, рабочая отметка, малые насыпи, объем насыпи, объем выемки, корыто, площадь поперечного сечения.

Лесные дороги на большей своей протяженности строятся в малых насыпях, что обусловлено ограниченностью финансовых, материальных и трудовых ресурсов на строительство, требованием по минимальному использованию земель лесного фонда под дорожные сооружения, резервы и отвалы. В настоящее время нормативные документы [4–6] предъявляют высокие требования к сдвигоустойчивости и морозостойкости нежестких дорожных одежд, что приводит к увеличению толщины дорожных одежд переходного типа в 1,5–2 раза [3]. Таким образом, на участках малых насыпей для устройства дорожной одежды в случаях, когда толщина дорожной одежды больше рабочей отметки, требуется устройство корыта, поэтому на таких участках объем земляных работ следует определять дифференцировано, т. е. установить объемы выемки (устройство корыта под основание дорожной одежды) и насыпи (присыпные обочины, включая засыпку пазух в корыте). В известных методиках расчета объемов земляных работ [1, 2] данные особенности участков малых насыпей не нашли глубокого отражения.

Если рассматривать участок призматоида между двумя сечениями с рабочими отметками H_j и H_{j+1} , то появляется необходимость устройства корыта. Определим превышение кромки дорожного покрытия (кромки укрепительной полосы обочины) над линией, образуемой пересечением плоскости ската дна корыта с откосом:

$$h_{вj} = [H_{д.оj} - O_y i_y - O_r i_r + (O_y + O_r) i_n](1 + m i_n), \quad (1)$$

где $H_{д.оj}$ – толщина дорожной одежды на участке между сечениями с рабочими отметками H_j и H_{j+1} , м;

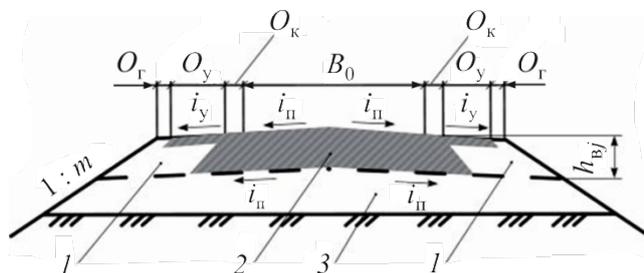
O_y, O_r – ширина соответственно остановочной (укрепленной) и прирвочной (грунтовой) полос обочины, м;

i_y, i_r – поперечный уклон соответственно укрепленной и грунтовой полос обочины;

i_n – поперечный уклон поверхности проезжей части;

m – коэффициент заложения откоса насыпи или откоса кювета для выемки.

Расчетная схема, иллюстрирующая определение параметра $h_{вj}$, приведена на рисунке.



Расчетная схема для определения параметра $h_{вj}$: 1 – обочина; 2 – дорожная одежда; 3 – насыпь ниже дорожной одежды

Рассмотрим возможные случаи.

1. Если $H_j < h_{вj} - h_{р.с}$ и $H_{j+1} < h_{вj} - h_{р.с}$ (где $h_{р.с}$ – толщина снимаемого растительного слоя, м), то корыто устраивается на протяжении всего участка между сечениями с рабочими отметками H_j и H_{j+1} . Объем земляных работ на устройство корыта $V_{в.кj}$ в данном случае определяется по формуле

$$V_{в.кj} = [B_{д.оj}\{h_{вj} - h_{р.с} - 0,5(H_j + H_{j+1})\} - 0,25 B_{д.оj}^2 i_{п}](L_{j+1} - L_j), \quad (2)$$

где $B_{д.оj}$ – ширина дорожной одежды по низу (ширина подошвы дорожной одежды), м,

$$B_{д.оj} = (B_0 + 2O_k) + 2m_{д.о} H_{д.оj}; \quad (3)$$

B_0 – ширина проезжей части, м;

O_k – ширина краевой укрепительной полосы обочины, м;

$m_{д.о}$ – коэффициент заложения откоса дорожной одежды;

L_j, L_{j+1} – координаты (расстояния от начала трассы) соответственно сечений призматоида с рабочими отметками H_j и H_{j+1} , м.

Объем насыпи на обочинах

$$V_{н.оj} = V_{в.кj} + \{0,5(F_j + F_{j+1}) - \frac{m_{п.н}}{6} (H_{j+1} - H_j)^2 + f_{с.п} + \alpha_j - F_{д.оj} - 2O_{г}h_{г}\}(L_{j+1} - L_j), \quad (4)$$

где F_j, F_{j+1} – площади поперечных сечений с рабочими отметками H_j и H_{j+1} , м²,

$$\begin{aligned} F_j &= B(H_j + h_{р.с}) + m_{п.н}(H_j + h_{р.с})^2; \\ F_{j+1} &= B(H_{j+1} + h_{р.с}) + m_{п.н}(H_{j+1} + h_{р.с})^2; \end{aligned} \quad (5)$$

B – ширина земляного полотна, м;

$m_{п.н}$ – коэффициент заложения откоса малой насыпи;

$f_{с.п}$ – площадь поперечного сечения сливной призмы, м²;

α_j – поправка на косогорность местности, учитываемая при поперечном уклоне поверхности земли 1:25 и круче и определяемая по зависимости, представленной в [2], м²;

$F_{д.оj}$ – площадь поперечного сечения дорожной одежды на участке между сечениями призматоида с рабочими отметками H_j и H_{j+1} , м²;

$h_{г}$ – толщина растительного слоя, укладываемого на грунтовой обочине, м.

2. Если $H_j < h_{вj} - h_{р.с}$ и $H_{j+1} \geq h_{вj} - h_{р.с}$, то корыто устраивается на некотором расстоянии l_j от сечения с рабочей отметкой H_j :

$$l_j = \frac{L_{j+1} - L_j}{H_{j+1} - H_j} (h_{вj} - h_{р.с} - H_j). \quad (6)$$

В данном случае объем земляных работ на устройство корыта

$$V_{в.кj} = 0,5[B_{д.оj}\{h_{вj} - h_{р.с} - H_j\} - 0,5 B_{д.оj}^2 i_{п}]l_j. \quad (7)$$

Объем насыпи на обочинах

$$\begin{aligned} V_{н.оj} = V_{в.кj} + \{0,5(F_j + F_{l_j}) - \frac{m_{п.н}}{6} (h_{вj} - H_j)^2 + \alpha_j\} l_j + F_{l_j} (L_{j+1} - L_j - l_j) + \\ + (f_{с.п} - F_{д.оj} - 2O_{г}h_{г})(L_{j+1} - L_j). \end{aligned} \quad (8)$$

Площадь поперечного сечения насыпи с рабочей отметкой H_j определяется по формуле (5), а площадь поперечного сечения F_{l_j} на расстоянии l_j – по нижеприведенной формуле:

$$F_{l_j} = B h_{Bj} + m_{п.н} h_{Bj}^2 - 0,25 B_j^2 i_{п}, \quad (9)$$

где B_j – ширина, м, земляного полотна на уровне низа дорожной одежды,

$$B_j = B + 2m_{п.н} h_{Bj}. \quad (10)$$

Объем земляных работ при устройстве насыпи ниже дорожной одежды

$$V_{н.нj} = \{0,5(F_{н(j+1)} - \frac{m_{п.н}}{6} (H_{j+1} + h_{р.с} - h_{Bj})^2 + \alpha_j + 0,25 B_j^2 i_{п}) (L_{j+1} - L_j - l_j)\}. \quad (11)$$

$$\text{Здесь } F_{н(j+1)} = B_j(H_{j+1} + h_{р.с} - h_{Bj}) + m_{п.н}(H_{j+1} + h_{р.с} - h_{Bj})^2. \quad (12)$$

3. Если $H_j \geq h_{Bj} - h_{р.с}$ и $H_{j+1} < h_{Bj} - h_{р.с}$, то корыто устраивается на некотором расстоянии l_j от сечения с рабочей отметкой H_{j+1} . Расстояние l_j определяется по формуле (6).

Объем корыта

$$V_{в.кj} = 0,5[B_{д.оj}\{h_{Bj} - h_{р.с} - H_{j+1}\} - 0,5 B_{д.оj}^2 i_{п}](L_{j+1} - L_j - l_j). \quad (13)$$

Объем насыпи на обочинах

$$V_{н.оj} = V_{в.кj} + \{0,5(F_{j+1} + F_{l_j}) - \frac{m_{п.н}}{6} (h_{Bj} - H_{j+1} + h_{р.с})^2 + \alpha_j\} (L_{j+1} - L_j - l_j) + F_{l_j} l_j + (f_{с.п} - F_{д.оj} - 2O_{г} h_{г})(L_{j+1} - L_j). \quad (14)$$

Площадь поперечного сечения насыпи с рабочей отметкой H_{j+1} определяется по формуле (5), а площадь поперечного сечения F_{l_j} на расстоянии l_j – по формуле (9).

Объем земляных работ при устройстве насыпи ниже дорожной одежды

$$V_{н.нj} = \{0,5(F_{нj} - \frac{m_{п.н}}{6} (H_j + h_{р.с} - h_{Bj})^2 + \alpha_j + 0,25 B_j^2 i_{п}) l_j\}. \quad (15)$$

$$\text{Здесь } F_{нj} = B_j(H_j + h_{р.с} - h_{Bj}) + m_{п.н}(H_j + h_{р.с} - h_{Bj})^2. \quad (16)$$

4. Если $H_j \geq h_{Bj} - h_{р.с}$ и $H_{j+1} \geq h_{Bj} - h_{р.с}$, то корыто не устраивается. В данном случае объем земляных работ при устройстве насыпи ниже дорожной одежды

$$V_{н.нj} = \{0,5(F_{нj} + F_{н(j+1)}) - \frac{m_{п.н}}{6} (H_{j+1} - H_j)^2 + \alpha_j + 0,25 B_j^2 i_{п}\} (L_{j+1} - L_j). \quad (17)$$

$$\text{Здесь } F_{нj} = B_j(H_j + h_{р.с} - h_{Bj}) + m_{п.н}(H_j + h_{р.с} - h_{Bj})^2; \quad (18)$$

$$F_{н(j+1)} = B_j(H_{j+1} + h_{р.с} - h_{Bj}) + m_{п.н}(H_{j+1} + h_{р.с} - h_{Bj})^2. \quad (19)$$

Объем насыпи при устройстве обочин

$$V_{н.оj} = (F_{l_j} + f_{с.п} - F_{д.оj} - 2O_{г} h_{г})(L_{j+1} - L_j), \quad (20)$$

где F_{l_j} определяется по зависимости (9).

Приведенные выше аналитические зависимости дают возможность дифференцировано рассчитать объем земляных работ по отдельным элементам земляного полотна: корыто, обочины, насыпь ниже дорожной одежды. Это позволяет установить потребность в грунтах различного качества для возведения земляного полотна, разработать технологические процессы его строительства, а также выполнить сравнение различных конструкций дорожных одежд с учетом изменения объемов земляных работ по различным элементам земляного полотна и возможности использования различных грунтов.

Выводы

1. На участках малых насыпей для устройства основания и дополнительного слоя дорожной одежды необходимо выполнение земляных работ по выемке грунта с последующей засыпкой пазух, что требует отдельного расчета объемов этих работ по отдельным элементам земляного полотна.

2. В зависимости от величин рабочих отметок крайних сечений призматоида на участке малой насыпи и толщины снятия растительного грунта возможны четыре случая дифференцированного расчета объема земляных работ.

3. Полученные аналитические зависимости для расчета объемов земляных работ по отдельным элементам земляного полотна для четырех возможных случаев позволяют установить потребность в грунтах различного качества для возведения полотна, разработать технологические процессы его строительства, выполнить сравнение различных конструкций дорожных одежд с учетом изменения объемов работ по отдельным элементам полотна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афоничев Д.Н.* Дифференциальная оценка распределения грунтовых масс по длине строящейся дороги // Изв. вузов. 2005. Приложение № 1. С. 100–104.

2. *Афоничев Д.Н.* Совершенствование расчета объемов земляных работ в системе автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2008. 117 с.

3. *Занин А.А.* Обоснование толщины дополнительного слоя дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: материалы междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 55-летию лесоинженерного факультета ВГЛТА // Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2009. С. 278–282.

4. МОДН 2–2001. Проектирование нежестких дорожных одежд М.: ФГУП «СюздорНИИ», 2002. 155 с.

5. СНиП 2.05.02–85*. Автомобильные дороги. М.: ФГУП ЦПП; Госстрой России, 2004. 54 с.

6. СНиП 2.05.07–91*. Промышленный транспорт. М.: АПП ЦИТП; Госстрой России, 1996. 120 с.

Поступила 13.11.10

D.N. Afonichev, V.A. Morkovin, A.A. Zanin
Voronezh State Forestry Academy

Earth Works Volumes Differential Calculations Based on the Earth-Bed Elements of the Small Embankments Plots

Four cases of the earth works differential calculations on the plot of small embankment are considered depending on the working marks volumes of the prismatoid's border cross-section and vegetable-soil removal thickness. Analytical dependences given for the earth works volume calculations by the separate elements of the earth-bed make possible to identify the requirements in the grounds of different quality, as well as to develop technological methods necessary for the earth-bed construction and to compare various designs of the road clothes.

Keywords: wood road, excavations, working marks, small embankments, embankment volume, dredging volume, ditch, the area of cross-section

УДК 629.113.01.012.81

И.Н. Кручинин

Уральский государственный лесотехнический университет

Кручинин Игорь Николаевич родился в 1962 г., окончил в 1984 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 60 печатных работ по проблемам транспорта леса, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

E-mail: kinaa@e1.ru



ФОРМИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО НАКАТА С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Обосновано формирование снежного наката с заданными свойствами, позволяющего обеспечить оптимальный коэффициент сцепления на зимних лесовозных автомобильных дорогах. Выявлены основные закономерности изменения плотности наката. Предложено устройство, способное формировать снежный накат требуемой плотности.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, зимняя эксплуатация автодорог, уплотнение снега, снежный накат, коэффициент сцепления.

Транспортно-производственная система лесного комплекса Уральского федерального округа объединяет в себе лесовозные автомобильные дороги различной ведомственной подчиненности, что приводит к существенному различию в уровне их содержания зимой. В зависимости от уровня содержания назначаются допустимые значения толщины рыхлого снега на проезжей части и времени снегоочистки и ликвидации зимней скользкости. При этом значительное количество лесовозных автомобильных дорог низших технических категорий, кроме внешних, практически эксплуатируются с сохранением уплотненного слоя снега – наката на проезжей части.

Одним из процессов, трудно поддающихся описанию, является формирование уплотненного снежного и снежно-ледяного наката на проезжей части лесовозных автомобильных дорог.

Цель нашей работы – обоснование формирования на лесовозных автомобильных дорогах снежного наката с заданными физико-механическими свойствами.

Способность покрытия лесовозных автомобильных дорог выдерживать нагрузку от действия подвижного состава будет зависеть от физико-механических свойств снега и льда. В качестве основных характеристик рассматривают твердость, жесткость и плотность снега.

Именно плотность снега на проезжей части и будет определять основные эксплуатационные характеристики зимних лесовозных автомобильных дорог. Плотность снега изменяется в очень широких пределах: от 0,01 (свежевыпавший снег) до 0,76 г/см³ (предельно уплотненный). При предельной плотности происходит его структурное изменение и начинает формироваться снежно-ледяная масса, когда кристаллы снега пройдут все фазовые превращения и образуется лед плотностью 0,90...0,92 г/см³. В свою очередь изменение плотности в наибольшей мере оказывает влияние на сцепные свойства покрытия.

Коэффициент сцепления колес автомобиля с покрытием является определяющим показателем безопасности движения и регламентируется нормативами по зимнему содержанию автомобильных дорог [2]. При этом коэффициент сцепления в зависимости от состояния снегового покрова изменяется от 0,08 до 0,35. Из анализа физико-механических свойств уплотненного снега установлено, что наибольшее значение коэффициента сцепления достигается при плотности снега в интервале от 0,50 до 0,55 г/см³ и температуре ниже –4 °С.

Таким образом, для реализации наибольшей тяговой возможности подвижного лесовозного состава и повышения безопасности движения необходимо обеспечить плотность снежного наката именно в этом интервале.

Формирование уплотненного наката на лесовозных автомобильных дорогах с дорожными одеждами переходного и низших типов имеет свои особенности: во-первых, значительная толщина L рыхлого снега на проезжей части (на лесовозных магистралях – от 60 до 100 мм, на ветках и усах – от 100 до 150 мм); во-вторых, уплотнение происходит не специальными снегоуплотняющими машинами, а сравнительно узкими пневмоколесами автомобилей; в-третьих, отсутствует значительная разность температур по высоте снежного наката, что ведет к увеличению теплопроводности снега и уменьшению процесса возгонки-сублимации.

В работе [4] приводится зависимость изменения плотности снега после прохода автомобиля на пневмошинах, построенная по обобщающим данным для различных типов снега, которая имеет следующий вид:

$$\rho_f = \rho_0 \left(\frac{L}{L - Z} \right),$$

где ρ_f – плотность снега на дне колеи в центральной части;

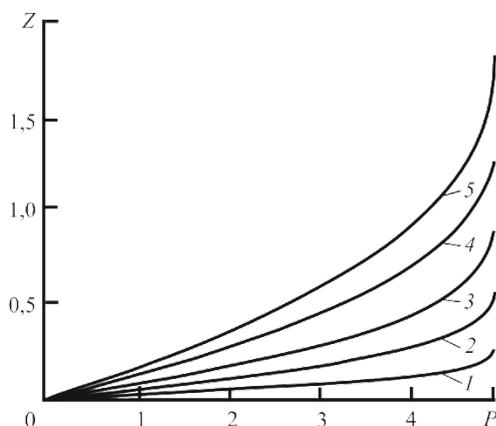
ρ_0 – начальная плотность снега;

L – толщина снега на проезжей части;

Z – деформация снега пневмоколесом.

При этом деформацию снега оценивали только на основании экспериментальных данных.

Для аналитической оценки деформации снега пневмоколесом автором была разработана математическая модель, основанная на теории пластичности сплошных сред [1]. В результате исследований установлено, что деформация снежного покрова на начальной стадии практически линейно зависит от приложенного давления. Однако в процессе дальнейшей деформации возникает нелинейная зависимость, вызванная изменением предела текучести снега и неоднородностью распределения его плотности в накате.



Зависимость деформации снега Z пневмоколесом от приложенного давления P при различной толщине снега L на проезжей части (Z , P и L – в относительных единицах; $P_1 = 100$ кПа): 1 – $L = 0,2$; 2 – $0,5$; 3 – $1,0$; 4 – $1,5$; 5 – $2,0$

На рисунке представлены результаты решения модели в виде функциональной зависимости $Z = f(P, L)$, где P – приложенное давление. Как видно из графиков, деформация снега, а значит, и плотность наката будут определяться не только давлением на него автотранспорта, но и толщиной рыхлого снега на дорожном покрытии.

Следует отметить, что полученное решение применимо только для условия движения с незначительной скоростью по ненарушенному снежному покрову, что характерно для перемещения лесовозных автомобилей по дорогам низших технических категорий или автозимникам.

С учетом полученных зависимостей было разработано и запатентовано устройство, способное формировать на автомобильной дороге снежный накат требуемой плотности [3]. Отличительной особенностью устройства являются поворотные открылки, установленные в передней части пневмоколесного катка. Боковые открылки направляют и регулируют толщину снега, подающегося в пятно контакта пневмоколеса катка в процессе движения. Так как плотность снежного наката подчиняется зависимостям, рассмотренным выше, то с помощью устройства можно получить слой наката необходимой плотности.

Зимнее содержание лесовозных автомобильных дорог в снежном накате с заданными свойствами позволяет не только сократить эксплуатационные затраты, но и повысить безопасность дорожного движения за счет обеспечения наибольшего коэффициента сцепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кручинин И.Н. Особенности формирования уплотненного снежного наката на автомобильной дороге // Вестник ВолГАСУ. Строительство и архитектура. Вып. 16 (35). Волгоград, 2009. С. 77–81.
2. ОДМ. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования. Введ. 2004.03.17. М.: Росавтодор, 2004. 229 с.

3. Пат. 83073 РФ, МПК⁷ Е 01 Н 4/00. Устройство для формирования снежного наката на автомобильной дороге / И.Н. Кручинин, С.И. Кручинин, С.И. Булдаков; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО УГЛТУ. № 2008141121/22; заявл. 16.10.2008; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14. 1 с.

4. Snow mechanics review of the state of knowledge and applications / L.H. Shapiro, J.B. Johnson, M. Sturm, G.L. Blaisdell // Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. Report 97-3.

Поступила 15.04.10

I.N. Kruchinin

Ural State Forestry University

Formation of Predesigned Packed Snow Surface of Logging Roads

Possibility of winter operation of logging roads surfaced with packed snow has been investigated. The paper contains description of the packed snow road surface with predesigned features. Basic mechanisms of the packed snow density variation have been disclosed. A device for predesigned density packed snow surface is suggested. The work justifies forming of predesigned packed snow surface, that permits to provide optimal friction coefficient at winter logging roads.

Keywords: logging roads, winter transporting operations, snow packing, packed snow surface, coefficient of friction.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 620.9:662.6

О.Д. Мюллер¹, В.И. Мелехов², В.К. Любов², Д.Л. Герасимчук², А.Н. Попов²

¹Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного технического университета

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Мюллер Оскар Давыдович родился в 1948 г., окончил в 1973 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры океанотехники и энергетических установок филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного технического университета. Имеет 50 научных работ.
E-mail: ockar@mail.ru



Мелехов Владимир Иванович родился в 1939 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесоведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, академик РАЕН и АПК. Имеет более 250 работ в области технологии высококачественной сушки, пропитки древесины и использования на основе новых технологий малоценной древесины и отходов деревообработки.
Тел.: (8182) 21-61-49



Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 190 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.
Тел.: 8 (8182) 21-61-75



Герасимчук Дмитрий Леонидович родился в 1987 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет, аспирант. Имеет 4 публикации в области переработки отходов деревообработки на основе новых технологий.
Тел.: 8(8182) 21-61-49



Попов Анатолий Николаевич родился в 1986 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант. Имеет 3 публикации в области теплоэнергетики.
Тел.: 8(8182) 21-61-75

© Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Герасимчук Д.Л., Попов А.Н., 2012

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕССОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ГРАНУЛ

Создан экспериментальный стенд для исследования основных физических параметров спрессованных древесных гранул и взаимосвязи породного и гранулометрического состава, влажности исходного древесного сырья.

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

Одним из важнейших и в тоже время недостаточно изученных процессов при изготовлении древесных гранул является процесс их формирования в фильерах матрицы в зависимости от породы древесины, гранулометрического состава и влажности исходной древесной шихты, давления и температуры прессования.

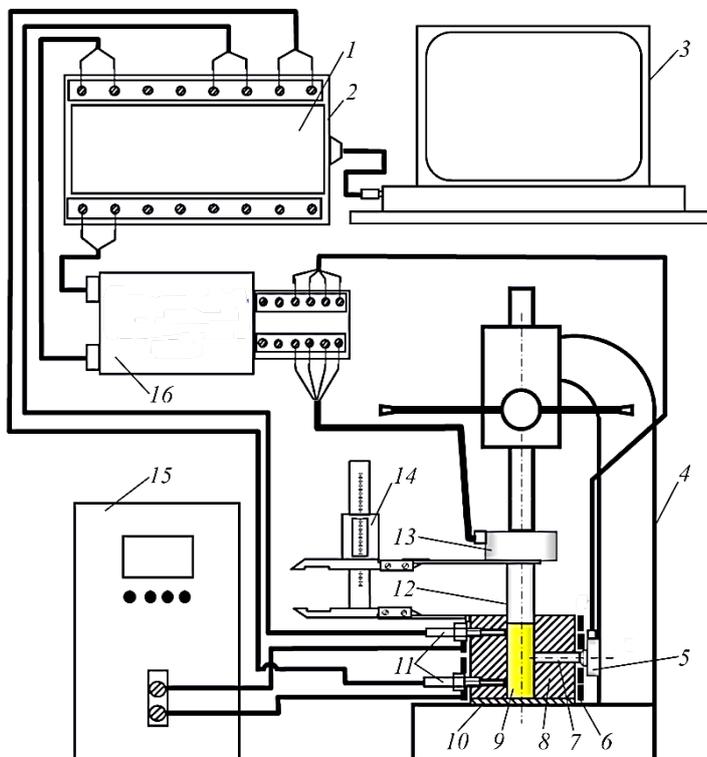
Для исследования процессов, происходящих при прессовании древесных гранул, необходимо выбрать реологическую модель, метод экспериментальных исследований, разработать экспериментальный стенд и методику для определения реологических характеристик прессования древесных материалов с учетом технологических факторов.

В настоящее время разработаны реологические модели для описания прессования древесной шихты в плоских и цилиндрических матрицах, позволяющие получить основные технологические параметры процессов прессования и оборудования в целях производства высококачественных древесных гранул [1, 3, 5, 6]. Проведенный различными авторами анализ процессов прессования древесной шихты показал, что основными технологическими параметрами, влияющими на качество прессования, являются породный и гранулометрический состав исходной древесной шихты, ее влажность, коэффициент бокового давления, коэффициент трения гранулы о стенки фильеры и температурный режим. При этом в технической литературе ощущается недостаток информации о величине и влиянии указанных параметров на процесс гранулирования древесного материала. Для проведения исследований необходимо создание современной лабораторно-экспериментальной базы.

Целью настоящей работы является создание экспериментального стенда для исследования влияния основных технологических параметров на процесс гранулирования древесной шихты, а также уточнение физических характеристик спрессованной древесной шихты.

Исходя из поставленных целей и анализа существующего опыта создания экспериментальных стендов для изучения характеристик спрессованных древесных материалов [2, 4, 7], был разработан экспериментальный исследовательский стенд, функциональная схема которого представлена на рисунке.

В существующих прессах-грануляторах прессование исходной древесной шихты осуществляется за счет прокатки валками. Давление прессования при этом определяется размерами фильер в матрице и силами трения спрессованной



Функциональная схема экспериментального стенда: 1 – 16-разрядный АЦП/ЦАП модели 211 SigmaUSB 2.0; 2 – интерфейс USB 2.0; 3 – компьютер; 4 – пресс AP-2; 5 – датчик силы Dacell CMM2 на 2 кН (на 10 кН); 6 – спиральный индуктор для нагрева матрицы; 7 – пуансон бокового давления; 8 – матрица с фильерой диаметром 8 мм (6 мм); 9 – древесная гранула; 10 – опорная плита; 11 – две термопары хромель-алюмель; 12 – рабочий пуансон; 13 – датчик силы Dacell UM на 20 кН; 14 – датчик перемещения на базе штангенциркуля Electronic digital caliper; 15 – генератор ТВЧ; 16 – предварительный усилитель модели 411

древесной гранулы о стенки фильеры. Поэтому в основу функциональной схемы стенда положен процесс прессования одиночной древесной гранулы в замкнутом объеме фильеры матрицы с помощью рычажно-реечного пресса (выходное отверстие фильеры закрыто опорной плитой). Древесная шихта вводится в фильеру фиксированными порциями до образования древесной гранулы требуемой плотности и длины. Матрица нагревается индукционным способом, что позволяет проводить прессование древесных гранул в широком диапазоне изменения ее температуры. По окончании прессования сформированная древесная гранула выталкивается плунжером через отверстие в опорной плите. Принятая в

экспериментальном стенде технология формирования древесной гранулы фактически позволяет воспроизвести существующую технологию промышленного производства.

Стенд включает: рычажно-реечный пресс; матрицу с фильерой; систему нагрева и термостабилизирующие матрицы; системы измерения и регистрации температуры древесной гранулы, усилия прессования, боковой силы со стороны древесной гранулы и перемещения пуансона прессования.

На экспериментальной установке возможно осуществить измерение и регистрацию параметров процесса в автоматическом режиме в следующих диапазонах:

температура матрицы – от 293 до 593 К;

температура спрессованной древесной гранулы – от 293 до 593 К;

давление прессования – от 0,1 до 400 МПа (для древесной гранулы диаметром 8 мм) и от 0,1 до 700 МПа (для древесной гранулы диаметром 6 мм);

боковое давление древесной гранулы на боковые стенки фильеры – от 0,01 до 500 МПа;

перемещение плунжера прессования – от 0 до 100 мм с точностью 0,01 мм;

осевое и боковое давление при выталкивании гранулы из фильеры матрицы в реальном масштабе времени.

Конструктивное исполнение стенда позволяет экспериментально определять плотность спрессованной древесной гранулы, коэффициент бокового давления, модуль упругости и коэффициент трения древесной гранулы о стенки фильеры в зависимости от состава исходной древесной шихты и технологических параметров прессования. Полученные экспериментальные результаты корректны и достоверны.

Для обработки результатов были разработаны математические модели процессов прессования древесной шихты в цилиндрических фильерах, которые позволяют получить дополнительную информацию о физических характеристиках древесных гранул в целях разработки оптимальных режимов прессования для получения древесных гранул с заданными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтунов М.А. Ползучесть и реология. К.: Высш. шк., 1976. 277 с.
2. Котенко В.Д., Сапожников И.В. Исследования структурных критериев в древесине при механическом нагружении // Науч. тр. МЛТИ. 1988. Вып. 203. С. 35–39.
3. Назаров В.И., Макаренков Д.А., Булатов И.А. Исследование процесса гранулирования дисперсных отходов на роторных прессах с плоской матрицей // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5. № 6. С. 13–16.
4. Потапов С.А., Пожиток А.И. Экспериментальный стенд для исследования коэффициентов переноса при нагреве влажных капиллярно-пористых материалов // Науч. тр. МЛТИ. 1986. Вып. 79. Технология древесных плит и пластиков. С. 15–19.
5. Сапожников И.В. Деформация пакета древесных частиц / Науч. тр. МГУЛ. 1993. Вып. 342. Технология и оборудование для переработки древесины. С. 86–88.
6. Ткаченко М.А. Деформативность древесных частиц при прессовании: дис. ... канд. техн. наук. М., 1993.

7. Шевляков А.А., Савицкий А.С. Экспериментальная установка для исследования реологических характеристик и плотности композиционных материалов // Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. Вып. 324. М.: МГУЛ, 2003. С. 24–29.

Поступила 17.11.11

O.D. Mueller¹, V.I. Melekhov², V.K. Lubov², D.L. Gerasimchuk², A.N. Popov²

¹«Sevmashvtuz» Branch of Saint-Petersburg State Marine Technical University

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

Test Workbench for Wood Pellets Extrusion Process Research

Created an experimental stand for investigation of basic physical parameters of compressed wood pellets, and the relationship of species and size distribution, moisture content of wood raw material source

Keywords: waste wood, sawdust, wood moisture content, bulk density, relative density, pressure, press granulator, matrix, die.

УДК 674.093

В.Г. Турушев¹, Н.В. Дерягин², Е.Д. Гельфанд¹

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

²Вологодский государственный университет

Турушев Валентин Гурьянович родился в 1928 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесопильно-строгальных производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 160 научных трудов по проблемам лесопиления и деревообработки.

Тел.: 8(8182) 21-89-66



Дерягин Руслан Валентинович родился в 1939 г., окончил в 1963 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории и проектирования машин и механизмов Вологодского государственного университета. Имеет более 130 печатных работ в области динамики машин и оборудования деревообрабатывающей промышленности, металлургического оборудования, вопросов современных проблем технологии деревообработки.

E-mail: tpmm@mh.vstu.edu.ru



Гельфанд Ефим Дмитриевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 340 печатных трудов в области химической технологии древесины и биотехнологии, по разработке биологически активных средств и удобрений для лесного и сельского хозяйства.

E-mail: biotech@agtu.ru



ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ТОВАРНЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Выявлены проблемы производства товарных пиломатериалов, установлены основные причины возникновения и показано их влияние на производственные показатели работы лесопильного предприятия.

Ключевые слова: пакетирование пиломатериалов, пакетоспособность, партия запуска, первичный и вторичный остатки пиломатериалов.

Наиболее полно потребительский спрос на товарные пиломатериалы удовлетворяется при поставке их в плотных транспортных пакетах, содержащих, как правило, пиломатериалы одного поперечного сечения, одной длины (или ограниченного количества длин), одной группы качества. Такие пиломатериалы имеют современный товарный вид, конкурентоспособны. В основу построения производственного процесса лесопиления также положен пакетный метод обращения с пиломатериалами на базе технологических пакетов, заменивший штучное непроизводительное обращение с пиломатериалами.

На базе пакетного метода обращения с пиломатериалами было проведено техническое перевооружение лесозэкспортных предприятий нашей страны. Модернизация лесопиления была осуществлена в два этапа в основном на базе финского оборудования.

© Турушев В.Г., Дерягин Н.В., Гельфанд Е.Д., 2012

Рассмотрим финишную (наиболее затратную) часть производственного процесса окончательной обработки пиломатериалов (полуфабрикатов). На этой стадии выполняются следующие технологические операции: камерная сушка пиломатериалов; кондиционирование пиломатериалов и накопление партий запуска технологического оборудования для окончательной обработки пиломатериалов; окончательное торцевание и маркирование пиломатериалов; сортирование пиломатериалов по качеству (сортам, группам сортов), длине (группам длин) и их пакетирование; формирование отгрузочных партий пиломатериалов, их хранение и поставка потребителю.

На первом этапе модернизации лесопильного производства для окончательного торцевания и сортирования пиломатериалов по качеству были закуплены финские торцовочно-маркировочные установки (ТМУ) фирмы «Raute», для сортирования пиломатериалов по длине и пакетированию – сортировочно-пакетирующие установки (СПУ) фирмы «Sateko».

Опыт работы лесозэкспортных предприятий показал, что технология и оборудование, положенные в основу первого этапа модернизации лесопиления, многозатратны:

а) ТМУ и СПУ обладают низкой производительностью. Лесопильное предприятие средней мощности оснащалось несколькими комплексами, скомпонованными из этих установок. Для осуществления технологической связи между ними потребовалось строительство буферных складов;

б) многократное формирование и разборка технологических пакетов. Сушильный пакет (часть сушильного штабеля) поступает на ТМУ, где его поштучно разбирают. В результате обработки пиломатериалов на ТМУ формируется плотный технологический пакет только для того, чтобы передать его на буферный склад, где накапливается технологический запас пиломатериалов для СПУ;

в) на входном участке СПУ пакет снова разбирают, доски поштучно поступают на участок их сортирования. Из рассортированных по длине пиломатериалов окончательно формируется плотный транспортный пакет (готовая продукция).

Второй этап модернизации лесопильного производства был проведен на базе комплексно-механизированных линий ЛТСП, предназначенных для окончательного торцевания, маркирования, сортирования пиломатериалов по сортам и длинам и их пакетирования. Была сделана попытка сразу устранить все недостатки, присущие технологии и оборудованию, на базе которого был проведен первый этап модернизации лесопиления.

Вместо многочисленных установок ТМУ и СПУ даже крупному предприятию (например, 8-рамному лесопильному заводу) достаточно иметь всего одну многооперационную комплексно-механизированную поточную линию типа ЛТСП. Производственная мощность лесопильного предприятия по выпуску сухих товарных пиломатериалов полностью зависит от производственной мощности (производительности) ЛТСП. Таким образом, ЛТСП по существу выполняет функции «головного» оборудования лесопильного предприятия. Все производственные службы предприятия имеют соподчиненный характер и обеспечивают рациональное функционирование линии.

В качестве базового оборудования при осуществлении второго этапа модернизации лесопиления были приняты отечественные линии модели БСП-1 и финские линии фирмы «Plan-Sell» (см. таблицу).

Техническая характеристика линий ЛТСП

Показатели	БСП-1	Plan-Sell
Размеры обрабатываемых пиломатериалов:		
длина, м	3...7	2...6,8
толщина, мм	19...75	19...100
ширина, мм	75...280	75...300
Длина обрабатываемых пиломатериалов, м	2,7...6,3	1,5...6,6
Размеры сушильных пакетов, м:		
длина	7	6,8
ширина	1,8	2,05
высота	1,5	5,0
Размеры транспортных пакетов, м:		
длина	2,7...6,3	1,5...6,6
ширина	<1,25	0,5; 1,2; 1,3
высота	<1,25	0,5; 1,2; 1,3
Число накопителей, шт.	42	36
Пропускная способность, шт./мин	32, 48, 63	30, 90
Обслуживающий персонал, чел.	9	10
Установленная мощность, кВт	180	480
Масса, т	120	320
Габаритные размеры, м:		
длина	64,5	106,0
ширина	22,0	11,0
высота	6,4	9,0

Выпуск отечественных линий БСП-1 ограничился опытно-промышленным образцом, который успешно работает на ОАО «Лесозавод № 2» (г. Архангельск). Второй этап модернизации лесопильной промышленности нашей страны был проведён в основном на базе финских ЛТСП фирмы «Plan-Sell».

Рассмотрим особенности технологии лесопиления на базе пакетного метода обращения с пиломатериалами на примере длительной эксплуатации линии ЛТСП фирмы «Plan-Sell». Эта линия предназначена для окончательного торцевания, маркирования и сортирования сухих пиломатериалов по сортам и длинам и их пакетирования.

На участке кондиционирования пиломатериалов (за лесосушильными камерами) накапливается некоторый запас однотипных (одного поперечного сечения) пиломатериалов, достаточный для бесперебойной работы линии в течение определенного отрезка календарного времени. Этот запас был назван «партией запуска» линии ЛТСП.

После завершения окончательного торцевания пиломатериалов очередной партии запуска в карманах-накопителях сортировочного участка линии остается

некоторое количество досок, недостаточное для формирования плотных транспортных пакетов и названное «первичным остатком». Только после обработки (опорожнения всех карманов-накопителей линии) первичного остатка начинается торцевание пиломатериалов следующей партии запуска. Происходит постепенное заполнение карманов-накопителей линии. С момента заполнения пиломатериалами хотя бы одного из накопителей включается в работу участок их пакетирования.

Продолжительность переналадки, во-первых, включает время на обработку первичного остатка пиломатериалов, во-вторых – время на заполнение не менее чем одного накопителя и на начало пакетирования пиломатериалов очередной партии запуска.

Таким образом, продолжительность переналадки линии ЛТСП – это суммарные затраты времени на завершение обработки данной партии пиломатериалов и подготовку к обработке очередной партии.

Опыт работы лесопильных предприятий показывает, что продолжительность переналадки составляет в среднем 2 ч. По существу на 2 ч приостанавливается «эффективная» деятельность предприятия, прекращается процесс окончательного торцевания пиломатериалов на головном оборудовании – линии ЛТСП (линии «Plan-Sell»).

Установлено, что средний объем первичного остатка досок в карманах-накопителях равен половине объема полных транспортных пакетов всех длин, вырабатываемых на линии ЛТСП:

$$V_{o-1} = \frac{lSn}{2q_1}, \quad (1)$$

где V_{o-1} – объем первичного остатка досок в карманах-накопителях ЛТСП, м³;

l – средняя длина пакетов, м;

S – площадь поперечного сечения пакета, м²;

n – количество пакетов, одновременно вырабатываемых на ЛТСП (36 шт.);

q_1 – количество длин досок, укладываемых в один пакет.

Пример. На линии Plan-Sell одновременно формируется 36 шт. (n равно числу карманов-накопителей линии) плотных транспортных пакетов, имеющих среднюю длину $l = 5$ м, площадь поперечного сечения $S = 1$ м². Объем первичного остатка находим по формуле (1): $V_{o-1} = 90$ м³. Из этого остатка нельзя сформировать ни одного плотного транспортного пакета, содержащего пиломатериалы одной длины. Возможен ряд вариантов обработки первичного остатка пиломатериалов:

весь первичный остаток возвращается на буферный склад и вновь поступает на линию с очередной партией пиломатериалов этого же сечения;

первичный остаток непосредственно на линии (или на отдельном вспомогательном потоке) укладывают в пакеты, состоящие из пиломатериалов двух-трех длин.

Первый вариант позволяет формировать все плотные транспортные пакеты из пиломатериалов одной длины в каждом пакете. Однако при этом существенно возрастают производственные затраты, не перекрываемые большей отпускной ценой пиломатериалов, поставляемых в пакетах из досок одной длины. Большинство предприятий обработку первичного остатка производят по второму варианту. При этом неизбежно получается вторичный остаток пиломатериалов:

$$V_{o-2} = \frac{lSn}{2q_2}, \quad (2)$$

где q_2 – количество длин досок, укладываемых в один пакет при пакетировании вторичного остатка.

Таким образом, практически каждую отгрузочную партию пиломатериалов приходится формировать из пакетов, содержащих доски заданного количества длин (например, одной или двух), а некоторая часть пакетов, формируемых из первичного остатка, содержит пиломатериалы большего количества длин. Контрактами на поставку экспортных пиломатериалов ограничивается доля «некондиционных» пакетов, состоящих из пиломатериалов большего количества длин.

Каждую отдельную отгрузочную партию пиломатериалов можно характеризовать коэффициентом кондиционности (критерием качества) K_k , представляющим собой отношение объема пакетов, содержащих доски заданного количества длин, к объему всех пакетов, полученных в результате обработки некоторой партии запуска.

Пиломатериалы, изготавливаемые по ГОСТ 26002–83 «Пиломатериалы хвойных пород северной сортировки, поставляемые для экспорта», сортируют по породам древесины, размерам поперечных сечений (по сечениям) и сортам на бессортные (включающие первый, второй и третий сорта, процентное соотношение которых должно соответствовать естественному выходу пиломатериалов из распиловки), отдельно четвертый сорт, отдельно пятый сорт.

Контракт на поставку экспортных пиломатериалов в качестве одного из основных условий содержит требование к кондиционности отгрузочной партии пиломатериалов. Это условие можно выполнить, если поступившая в обработку партия запуска ЛТСП обладает свойством пакетоспособности. В результате ее обработки получается отгрузочная партия пиломатериалов в плотных транспортных пакетах с заданным (контрактным) коэффициентом кондиционности K_k .

После завершения обработки пакетоспособной партии запуска ЛТСП получим отгрузочную партию, обладающую контрактным коэффициентом кондиционности.

Минимальный объем пакетоспособной партий запуска (V_{\min}) линии ЛТСП зависит от способа обработки первичного остатка пиломатериалов V_{o-1} .

Первый способ. Первичный остаток (1) полностью раскладывают в пакеты с большим количеством длин досок:

$$V_{\min} = \frac{lSn}{2K_c q_1 (1 - K_k)}, \quad (3)$$

где l – средняя длина досок, м;

S – площадь поперечного сечения пакета, м²;

n – количество длин сортируемых пиломатериалов, шт.;

K_c – расчетный коэффициент сорта, выражающий отношение объема пиломатериалов того сорта, по которому ведется расчет минимальной партии запуска ЛТСП, к объему пиломатериалов всех сортов, входящих в отгрузочную партию (принимается по данным конкретного предприятия за некоторый период его работы);

q_1 – количество длин досок, укладываемых в один пакет при первичном пакетировании;

K_k – коэффициент кондиционности.

Второй способ. Первичный остаток V_{o-1} раскладывают в нестандартные пакеты с увеличенным, но вполне определенным числом длин досок в пакете, вторичный остаток V_{o-2} передают на буферный склад:

$$V_{\min} = \frac{lSn(q_2 - q_1K_k)}{2K_cq_1q_2(1 - K_k)}, \quad (4)$$

где q_2 – количество длин досок, укладываемых в пакет при формировании его из первичного остатка V_{o-1} .

Формула (4) справедлива при $q_2 > q_1$.

Определим минимальный объем пакетоспособной партии запуска ЛТСП по формуле (3), когда первичный остаток полностью раскладывается в пакеты с увеличенным количеством длин досок. Посортный состав отгрузочной партии пиломатериалов: бессортные – 30 %; четвертого сорта – 50 %; пятого сорта – 20 % (0,3; 0,5; 0,2). Средняя длина досок $l = 5,1$ м; суммарная площадь поперечного сечения досок, укладываемых в один пакет, $S = 1$ м²; длина досок 2,7...6,6 м; количество длин обрабатываемых пиломатериалов $n = 14$; количество длин досок, укладываемых в один пакет, $q_1 = 1$; коэффициент кондиционности $K_k \geq 0,8$.

При наименьшем расчетном коэффициенте сорта $K_c = 0,2$ (пиломатериалы пятого сорта) минимальный объем партии запуска $V_{\min} = 892,5$ м³, пиломатериалы всех сортов имеют коэффициент кондиционности $K_k \geq 0,8$.

Минимальный объем пакетоспособной партии запуска, рассчитанный по бессортным пиломатериалам ($K_c = 0,3$), равен 595 м³. При этом бессортные пиломатериалы, а также пиломатериалы четвертого сорта имеют коэффициент кондиционности $K_k \geq 0,8$, т. е. удовлетворяют требованиям потребителя.

Расчет объема пакетоспособной партии запуска по пиломатериалам четвертого сорта ($K_c = 0,5$) позволяет уменьшить ее объем до 357 м³, однако при этом бессортные пиломатериалы, а также пиломатериалы пятого сорта не отвечают требованиям рынка ($K_k < 0,8$).

Таким образом, в рассмотренном примере в целом партия запуска пакетоспособна ($K_k \geq 0,8$) только при наименьшем коэффициенте сорта ($K_c = 0,2$), принятом при ее расчете, однако при этом она имеет наибольший объем. Для ее накопления необходимы буферные склады большой вместимости. Так, лесопильное предприятие, одновременно вырабатывающее пиломатериалы десяти размеров поперечных сечений, должно иметь крытый буферный склад вместимостью 8925 м³.

Минимальный объем пакетоспособной партии запуска (3), рассчитанный по бессортным пиломатериалам, составит 595 м^3 . При этом пиломатериалы пятого сорта раскладываются в пакеты, состоящие из досок нескольких длин. Минимальная партия запуска, определенная по четвертому сорту, равна 357 м^3 . В случае выполнения этого условия (формирование пакетов из досок нескольких длин) укрупненному сортированию подлежат бессортные пиломатериалы, а также пиломатериалы пятого сорта, что совершенно неприемлемо.

В практике лесопиления из-за ограниченного числа карманов-накопителей на линиях ЛТСП, как правило, минимальную партию запуска определяют по второму варианту (по бессортным пиломатериалам, $K_c = 0,3$). При этом укрупнено сортируют только пиломатериалы пятого сорта.

Ни линия Plan-Sell, ни линия БСП-1 по числу карманов-накопителей не обеспечивают сортирование всех окончательно обработанных пиломатериалов в соответствии с требованиями рынка. Только для пиломатериалов длиной $2,7 \dots 6,6 \text{ м}$ необходимо 48 карманов-накопителей. Кроме того, требуется достаточно большое число накопителей для короткомерных пиломатериалов (дилен), неизбежного «отпада» от экспорта (пиломатериалы внутреннего рынка) и «технического» брака.

Таким образом, лесопильные предприятия, оснащенные линиями Plan-Sell и БСП-1, практически лишены возможности выпускать пиломатериалы по ГОСТ 26002–83 в плотных транспортных пакетах с регламентированным коэффициентом кондиционности и вынуждены значительную часть экспортных пиломатериалов сортировать укрупнено, с повышенным количеством длин досок в одном пакете, и реализовать их по меньшей цене. Кроме того, на линиях ЛТСП не созданы необходимые условия для сортирования дилен и пиломатериалов внутреннего рынка (отпада от экспорта).

Некоторые лесопильные предприятия (ЗАО «Лесозавод № 25», ОАО «Онежский ЛДК») частично решают проблему повышения эффективности работы линий ЛТСП за счет увеличения числа карманов-накопителей с 36 до 50 и более. Однако это техническое мероприятие приводит к усугублению проблем, связанных с эксплуатацией линий ЛТСП, и дальнейшему усложнению всего процесса окончательной обработки пиломатериалов:

увеличивается объем первичного остатка (1) пропорционально возрастанию числа карманов-накопителей;

возрастает продолжительность переналадочного периода, в течение которого по существу приостанавливается выпуск готовых пакетов товарных пиломатериалов;

увеличиваются минимальный объем пакетоспособной партии запуска линий ЛТСП и вместимость буферных складов для их накопления;

возрастает себестоимость производства пакетированных пиломатериалов.

И наконец, еще одно противоречие: чем выше производительность линии ЛТСП, тем чаще ее переналадка, вызванная переходом на обработку пиломатериалов очередного типоразмера.

Пути преодоления проблем в производстве сухих товарных пиломатериалов в плотных транспортных пакетах будут опубликованы в ближайших номерах «Лесного журнала».

Поступила 17.06.11

V.G. Turushev¹, N.V. Derjagin², E.D. Gelfand¹

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

²Vologda State University

Problems of Commodity Sawn Timber Production

Problems of commodity sawn timber production have been disclosed. Basic reasons of processing procedure irregularities and their effect on a sawmill productivity are described.

Keywords: sawn timber packaging, suitability of sawn timber for packaging, production run, primary and secondary sawn timber stock pile.

УДК 674.812:001.5

В.В. Сергеевичев

Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия

Сергеевичев Владимир Васильевич родился в 1947 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, заведующий кафедрой теории и механизмов, деталей машин и подъемно-транспортных устройств С.-Петербургской государственной лесотехнической академии. Имеет более 80 печатных трудов в области технологии и механики древесных материалов.
E-mail: varagalina@yandex.ru



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВАЛКОВЫХ ПРЕССАХ

Приведена математическая модель процесса прокатки древесных материалов в валковых прессах непрерывного действия, которая позволяет определить основные силовые параметры и выполнить анализ напряженного состояния древесных материалов.

Ключевые слова: фанерные трубы, напряженное состояние, анализ напряженного состояния, математическая модель.

Цель работы – создание математической модели для проведения исследований и расчетов длинных прокатываемых листов, которая бы адекватно описывала процесс и позволяла определять напряженно-деформационное состояние прокатываемого материала.

При изготовлении плитных и листовых изделий из древесных материалов в прессах непрерывного действия имеется плоская задача для слоя. В декартовой прямоугольной системе координат (x, y, z) лист занимает область

$$-\infty < x < \infty, \quad 0 < y < H, \quad -\infty < z < \infty. \quad (1)$$

Предполагается, что все его упругие и прочностные характеристики, а также геометрические, силовые и деформационные условия нагружения не зависят от z , т. е. рассматривается плоская задача для слоя толщиной H , или полосы $(-\infty < x < \infty, 0 < y < H)$, жестко закрепленной на нижней границе $y = 0$. Упругие перемещения по x и y обозначим через u и V . Исходя из формул Коши, плоские деформации представим в следующем виде:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y}; \quad \varepsilon_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}. \quad (2)$$

Природное строение древесины обуславливает ярко выраженную анизотропию рассматриваемого материала. Считая, что волокна и сосуды древесины, располагающиеся в направлении ствола дерева, идут вдоль оси Ox , а деформации, содержащие продольные перемещения u , будем считать пренебрежительно малыми по сравнению с поперечными деформациями $\partial V/\partial y$ и углами скоса $\partial V/\partial x$.

В этом случае обобщенный закон Гука, связывающий деформации с напряжениями, имеет упрощенный вид:

$$\sigma_y = E \frac{\partial V}{\partial y}; \quad \tau_{xy} = G \frac{\partial V}{\partial x}, \quad (3)$$

где σ_y , τ_{xy} – нормальное и касательное напряжения;

E – модуль Юнга в направлении y ;

G – модуль сдвига.

В первом приближении модель поперечного сжатия и прокатки древесины будем строить как одномерную модель теории сопротивления материалов, усредняя по оси OY все механические, прочностные, геометрические параметры полосы, а также граничные условия на торцах прямоугольников и полуполос при решении соответствующих задач для конечных и бесконечных областей [2]. Не меняя обозначений, в дальнейшем будем полагать, что зависимости (2) и (3) связывают усредненные значения величин. При прокатке древесины, когда под давлением вала напряжения σ_y достигают критических значений σ_c , происходит сжатие клеток. Вертикальные стенки клетки частично разрушаются и складываются, горизонтальные – сближаются. В целом материал уплотняется. Таким образом, модуль сдвига уплотнившегося материала G_c увеличивается в $1/\theta$ раз, толщина уплотнившегося материала h_c уменьшается в θ раз (где θ – коэффициент линейного уплотнения):

$$G_c = \frac{G}{\theta}, \quad h_c = \theta h. \quad (4)$$

С одной стороны, после сжатия клеток и уплотнения древесины в поперечном направлении ее модуль Юнга значительно увеличивается, и деформациями ε_y уплотненной древесины можно пренебречь, считая ее несжимаемой. С другой стороны, главный вектор касательных напряжений τ_{xy} в сечении $x = \text{const}$ полосы толщиной h

$$F = \int_0^h \tau_{xy} dy = \int_0^h G \frac{\partial V}{\partial x} dy = hGV', \quad (5)$$

и сохраняет свою величину после уплотнения полосы. Действительно, в силу (4) имеем

$$F_c = \int_0^{h_c} G_c \frac{\partial V}{\partial x} dy = h_c G_c V' = hGV'. \quad (6)$$

Таким образом, если H – толщина исходной полосы, то, независимо от толщины ее уплотненной части h , главный вектор F касательных напряжений τ_{xy} в сечении $x = \text{const}$ выражается формулами

$$F = HG \frac{dV}{dx}; \quad F = \eta W'; \quad \eta = \frac{GH}{2}, \quad (7)$$

где W – перемещение верхней границы полосы, $W = 2$.

Рассмотрим теперь равновесие отрезка полосы шириной Δx , заключенного между сечениями x и $x + \Delta x$ (рис. 1). Пусть, кроме ранее введенных уже величин $F = F(x)$ и $\sigma_y = \sigma_y(x)$, на полосу действует вертикальная нагрузка $q(x)$.

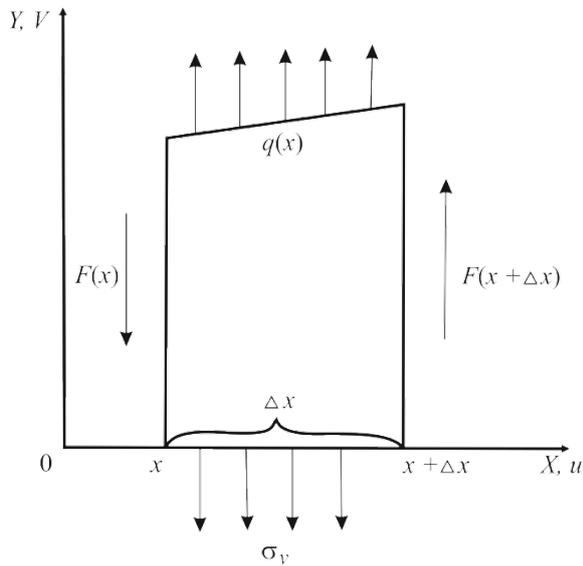


Рис. 1. Схема действия перерезывающих сил и нормальных напряжений

Проектируя на ось OY все силы, приложенные к прямоугольнику, имеем

$$F(x + \Delta x) - F(x) = (\sigma_y - q(x))\Delta x. \quad (8)$$

Переходим к пределу при $\Delta x \rightarrow 0$:

$$F'(x) = \sigma_y - q(x). \quad (9)$$

Подставляем (7) в левую часть (9) и получаем дифференциальное уравнение относительно неизвестных V и σ_y :

$$V'' = \frac{1}{HG}(\sigma_y - q(x)). \quad (10)$$

Однако специфика прокатки делает величину $\sigma_y(x)$ известной на определенном участке x . Рассмотрим движение одного из валков во время уплотнения, т. е. при достаточно большой нагрузке. Из общих соображений понятно, что в определенной точке перед валком постоянная до сих пор толщина h уплотненной другими валками или в другом цикле части полосы начнет при $q(x) = 0$ монотонно расти и этот процесс закончится под нижней точкой валка. Именно монотонность роста на участке, передняя граница которого неизвестна, позволяет утверждать, что на нем имеется следующее равенство:

$$\sigma_y = -\sigma_c. \quad (11)$$

В дальнейшем эта гипотеза будет доказана. Заметим, что она не всегда была справедливой при $q(x) \neq 0$ или, например, если бы валок оказался зубчатым, т. е. в этих случаях $\sigma_y \neq \text{const}$. По теории упругости указанная монотонность порождается монотонностью убывания при росте $|x|$ и $y = \text{const}$ напряжений σ_y подсосредоточенной в точке $x = 0, y = H$ силой. Она не дает возможности возникнуть напряжениям $\sigma_y > -\sigma_c$. Напряжения $\sigma_y < -\sigma_c$ не могут появиться, поскольку они уплотняли бы новые слои древесины, пока не достигли бы значений $-\sigma_c$.

Итак, согласно (10), на участке активного уплотнения (при $q(x) = 0$) справедливо уравнение

$$V'' = \frac{\sigma_c}{GH} \text{ или } V'' = -\frac{\sigma_c}{\eta}. \quad (12)$$

Как уже отмечалось выше, в период активной прокатки возникает предельное напряжение сжатия $\sigma_y = -\sigma_c$, $\sigma_c > 0$, в этот момент

$$-\sigma_y = E\varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{v_2}{H - \chi}. \quad (13)$$

Из этих равенств следует, что

$$v_2(x) = \frac{-\sigma_c}{E}(H - \chi). \quad (14)$$

Так как полное перемещение v складывается из v_1 и v_2 :

$$v = v_1(x) + v_2(x); \quad v_1(x) = -\chi(x)(1 - \theta) \quad (15)$$

и
$$\chi = \frac{h(x)}{\theta}; \quad v_1(x) = h(x)\left(\frac{1}{\theta} - 1\right), \quad (16)$$

то из формул (14)–(16) получаем

$$w(x) = -h(x)\left(\frac{1}{\theta} - 1\right) - \frac{\sigma_c}{E}\left[H - \frac{h(x)}{\theta}\right], \quad (17)$$

или в другой форме:

$$w(x) = -\alpha h(x) - \beta H. \quad (18)$$

Решив уравнение, можно найти силу $F(x)$, по формуле (18) – толщину уплотненной древесины:

$$h(x) = -\frac{1}{\alpha}[w(x) - \beta H], \quad (19)$$

по формулам (14) и (15) – перемещение:

$$v_2(x) = -\frac{\sigma_c}{E}\left[H - \frac{h(x)}{\theta}\right], \quad (20)$$

где $\alpha = \frac{1}{\theta} - \frac{\sigma_c}{\theta E} - 1$; $\beta = \frac{\sigma_c}{E}$. (21)

Заметим, что коэффициент α определяется формулой (8) в первом приближении. Более точно его можно найти непосредственно из опыта, не связывая с θ , σ_c и E в отдельности.

Пусть на некотором участке $x \in (a, b)$ полосы толщина уплотненного слоя постоянна $h(x) = h = \text{const}$ и напряжений $\sigma_y > -\sigma_c$ являются допредельными, неразрушающими. При прокатке эти участки располагаются на некотором удалении перед валком и непосредственно за валком, в результате прокатки образуются полосы предшествующими валками и рассматриваемым валком в данном цикле.

Согласно (16)

$$\sigma_y = E\varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{v_2}{H - \frac{h}{\theta}}. \quad (22)$$

Из (13) имеем

$$F = \eta w'; \quad \frac{dF}{dx} = \sigma_y; \quad \eta w'' = \sigma_y. \quad (23)$$

Подставим (22) в (23):

$$\eta w'' = \frac{E v_2}{H - \frac{h}{\theta}}. \quad (24)$$

Так как $h(x) = \text{const}$ из (4) имеем $v_1''(x) \equiv 0$, а из (3) – $w''(x) = v_2''(x)$. Следовательно, из (24) получим

$$v_2'' = \frac{E}{\eta(H - \frac{h}{\theta})} v_2 \quad (25)$$

или

$$v_2'' - \gamma^2 v_2 = 0; \quad \gamma = \sqrt{\frac{E}{\eta(H - \frac{h}{\theta})}}. \quad (26)$$

Решая это дифференциальное уравнение, можно найти по формулам (11) функции

$$F(x) = \eta v_2'; \quad \sigma_y = \eta \gamma^2 v_2. \quad (27)$$

Общее решение уравнения (26) имеет следующий вид:

$$w = \frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2; \quad x \in X_1; \quad (28)$$

$$v_2 = C_3 e^{\gamma x} + C_4 e^{-\gamma x}; \quad x \in X_2, \quad (29)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – произвольные постоянные;

X_1 – множество промежутков активного уплотнения;

X_2 – множество промежутков упругой деформации.

Используя формулы (20), (21), (27), запишем другие компоненты решения:

$$F(x) = \eta \left(-\frac{\sigma_c}{\eta} x + C_1 \right); \quad (30)$$

$$h(x) = -\frac{1}{\alpha} \left[-\frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2 + \beta H \right]; \quad (31)$$

$$v_2(x) = -\frac{\sigma_c}{E} \left[H + \frac{1}{\alpha \theta} \left(-\frac{\sigma_c}{2\eta} x^2 + C_1 x + C_2 + \beta H \right) \right] x \in X_1; \quad (32)$$

$$F(x) = \eta[C_3\gamma e^{\gamma x} - C_4\gamma e^{-\gamma x}]; \quad (33)$$

$$\sigma_y(x) = \eta\gamma^2[C_3 e^{\gamma x} + C_4 e^{-\gamma x}], \quad x \in X_2. \quad (34)$$

Произвольные постоянные C_k определяются из условий на границах областей X_1 и X_2 , включая бесконечно удаленные точки. На каждом торце прямоугольника $x = x_0$, т. е. на краю листа, ставится одно из условий:

$$v_2(x_0) = v_0; \quad F(x_0) = F_0; \quad h(x_0) = h_0 \quad (35)$$

или их комбинация. Если точка x_0 является заданной точкой сопряжения решений на X_1 и X_2 , то граничные условия представляют собой совокупность каких-либо двух из выписанных ниже трех условий:

$$v_2^+(x_0) - v_2^-(x_0) = v_0; \quad (36)$$

$$F^+(x_0) - F^-(x_0) = F_0; \quad (37)$$

$$h^+(x_0) - h^-(x_0) = h_0. \quad (38)$$

Здесь $f^+(x_0)$ и $f^-(x_0)$ – предельные значения функции $f(x)$ при $x \rightarrow x_0$ соответственно справа и слева;

f_0 – скачок функции в точке x_0 .

Если точка сопряжения решений x_0 заранее неизвестна и подлежит определению, то в ней должны быть удовлетворены все три условия (36) – (38). Если рассматривается решение в бесконечной или полубесконечной полосе, то, как правило, ставится условие стремления к нулю всех компонент решения при $x \rightarrow \infty$ или $x \rightarrow -\infty$.

Рассмотрим плоскую задачу упругой деформации бесконечного листа, $x \in (-\infty, \infty)$, нагруженного по прямой $x = 0$ равномерно распределенными силами плотностью $2F_0$ (рис. 2). Пусть H – первоначальная толщина листа. В результате одного или нескольких предшествующих циклов прокатки в нем образовался уплотненный поверхностный слой постоянной толщины h . В силу зеркальной симметрии задачи относительно сечения $x = 0$ решение можно искать в правой половине листа $x \in (0, \infty)$, приложив на ее торце силу F_0 и потребовав, чтобы на бесконечности решение стремилось к нулю.

Учитывая, что в силу требования $C_3 = 0$, из (29) получаем

$$V_2 = C_4 e^{-\gamma x}. \quad (39)$$

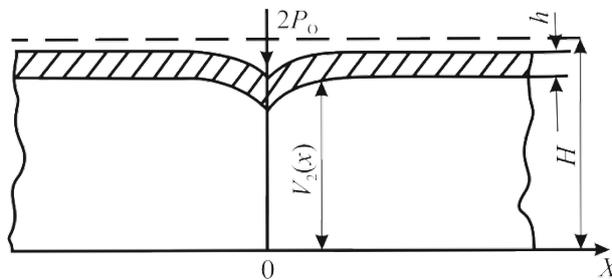


Рис. 2. Упругая деформация бесконечного листа

При $x = 0$ на основании (33) имеем

$$F_0 = -C_4 \eta \gamma e^{-\gamma x}. \quad (40)$$

Отсюда и из (39), (33) и (34):

$$C_4 = -\frac{F_0}{\eta \gamma}; \quad V_2(x) = -\frac{F_0}{\eta \gamma} e^{-\gamma x}; \quad (41)$$

$$F(x) = F_0 e^{-\gamma x}; \quad \sigma_y^{(x)} = -F_0 \gamma e^{-\gamma x}. \quad (42)$$

Так как функция $|\sigma_y(x)|$ на всем промежутке $(0, \infty)$ монотонно убывает, то наибольшее сжимающее напряжение σ_y^{\max} возникает под силой F_0 в точке $x = 0$:

$$\sigma_y^{\max} = |\sigma_y(0)| = F_0 \gamma = F_0 \sqrt{\frac{2\theta E}{GH(H\theta - h)}}. \quad (43)$$

В упругой стадии прокатки сжимающие напряжения $|\sigma_y(x)|$ не могут превышать σ_c . Поэтому приложенная к валку минимальная сила F_0^{\min} , при которой начинается уплотнение листа, выражается как

$$F_0^{\min} = \sigma_c \sqrt{\frac{GH(H\theta - h)}{2E\theta}}. \quad (44)$$

Как видно из (44), сила F_0^{\min} пропорциональна σ_c и увеличивается с ростом G и H , а также с уменьшением E , что качественно соответствует опытным данным и легко объясняется с позиции теории упругости [1]. С увеличением h сила F_0^{\min} уменьшается. В допредельной упругой стадии первого цикла прокатки, когда $h = 0$ и уплотненный слой еще отсутствует, формула для определения минимальной силы, приложенной к валку, имеет следующий вид:

$$F_0^{\min} = \sigma_c H \sqrt{\frac{G}{2E}}. \quad (45)$$

Естественно, эта сила не должна зависеть от θ , что и отражает формула (45).

Выбранная модель качественно соответствует и другим результатам экспериментов с древесиной. Например, если представить действие сосредоточенной силы, то в опыте под кромкой наблюдается излом перемещений, $W'(0) > 0$. Обычная балочная теория изгиба дает $W'(0) = 0$, теория упругости – $W'(0) = \infty$. Воспользуемся формулой (41):

$$W'(0) = V_2'(0) = \frac{F_0}{\eta} = \frac{2F_0}{GH}. \quad (46)$$

Таким образом, угол излома поверхности древесины под силой конечен, пропорционален действующей силе, обратно пропорционален модулю сдвига и толщине листа или бруса.

Если сила F_k приложена в точке $x = t_k$, то очевидно решение имеет вид:

$$V_{2k}(x) = -\frac{F_k}{\eta \gamma} e^{-\gamma(x-t_k)}. \quad (47)$$

Так как задача линейна, то при действии нескольких сил F_k решение выражается суперпозицией отдельных решений (47):

$$V_2(x) = -\sum_k \frac{F_k}{\eta\gamma} e^{-\gamma(x-t_k)}. \quad (48)$$

Аналогично представим и другие компоненты решения (41), (42).

Если на отрезке $x \in (a, b)$ задана распределенная нагрузка плотностью $r(x)$, то решение, очевидно, выражается формулой, подобной (48):

$$V_2(x) = -\int_a^b \frac{r(t)}{\eta\gamma} e^{-\gamma(x-t)} dt, \quad (49)$$

где x не принадлежит отрезку (a, b) . В случае полиномиальных нагрузок интеграл (49) выражается в элементарных функциях.

Например, при $r(t) = r = \text{const}$ имеем

$$V_2(x) = -\frac{re^{-\gamma x}}{\eta\gamma^2} (e^{\gamma b} - e^{\gamma a}), \quad x \in (a, b). \quad (50)$$

Все полученные решения можно использовать при исследованиях и расчетах длинных прокатываемых листов, на краях которых напряжения и деформация заведомо малы.

Выводы

1. Предложенная математическая модель в виде двух систем дифференциальных уравнений и функциональных зависимостей, построенная на базе уравнений теории упругости с использованием принципа уплотнения древесины при максимально возможных сжимающих напряжениях, адекватно описывает процесс прокатки, что подтверждается экспериментально.

2. Математические модели позволяют решить весь комплекс задач по обоснованию и оптимизации параметров рабочих органов валковых прессов и технологии прокатки, в том числе определить напряженно-деформационное состояние прокатываемого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир. 1975, 872 с.
2. Нуллер Б.М., Сергеевичев В.В. К вопросу о моделировании процесса механической прокатки древесных материалов //Изв. СПбГЛТА. 2002. С. 63–66.

Поступила 20.11.06

V.V. Sergeevichev
St. Petersburg State Forestry Academy

The Math Model of Working Wood Materials in Rolling Presses

The math model of the wood materials rolling in shaft presses of constant action allows to define the basic power points and to execute the analysis of wood material tense condition.

Keywords: plywood pipes, tension, tension analysis, mathematical model.

УДК 629.12

Л.В. Кремлева, В.И. Малыгин, Н.А. Пестов

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

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

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИИ РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 180 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

E-mail: xvt@sevmashvtuz.edu.ru



Пестов Николай Александрович родился в 1970 г., окончил в 1994 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии металлов и машиностроения филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 30 научных работ в области машиностроительных технологий.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК С БОЛЬШИМИ ОТКЛОНЕНИЯМИ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ

Предложена методика автоматизированного расчета оптимальной технологической базы при поштучном центрировании фанерного кряжа со значительными отклонениями формы и размеров на лущильных станках, позволяющая увеличить объем получаемого шпона, в том числе при переработке некондиционной части лесоматериалов, используемых в фанерном производстве.

Ключевые слова: фанерный кряж, отклонения формы, технологическая база, оптимальная ориентация, лущеный шпон.

Задача определения оптимальной пространственной ориентации цилиндрических заготовок с большими отклонениями формы и размеров часто возникает при центрировании фанерного кряжа на лущильных станках. Точность базирова-

ния заготовок при этом во многом определяет качество и объем получаемого шпона. Центрирование цилиндрических чураков с помощью центровочно-загрузочных устройств (ЦЗУ) лущильных станков осложняется разнообразием формы поперечного сечения и наличием существенной кривизны оси заготовок по их длине. Следует отметить, что по отношению к форме заготовки необходимо различать совокупность всех ее отклонений, т. е. не только отклонений от цилиндричности, но и от круглости поперечных сечений, наклон или кривизну образующей заготовки.

Цель работы – увеличение полезного выхода лущеного шпона, в том числе при переработке некондиционной части лесоматериалов, используемых в фанерном производстве.

Фирмой «Raute» (Финляндия) предложен автоматизированный способ базирования фанерных чураков в ЦЗУ по технологии поштучной ориентации Smart Scan XY*, позволяющий существенно повысить полезный выход шпона и в автоматизированном режиме переходить от оцилиндровки к лущению, сокращая продолжительность вспомогательных операций.

Решение задачи оптимального центрирования чурака сводится к задаче нахождения максимального диаметра вписанного цилиндра и определения положения его оси в пространстве. Использование программируемых контроллеров в системах управления ЦЗУ приводит к необходимости разработки специализированного программного обеспечения, позволяющего в автоматизированном режиме определять координаты центров заготовки и формировать команды на корректировку технологической оси заготовки исполнительным органам ЦЗУ.

Для практического решения задачи разработана методика расчета оптимальной осевой технологической базы цилиндрических заготовок с большими отклонениями формы поперечных сечений и кривизной оси.

Исходными данными для расчета являются результаты замера формы N поперечных сечений заготовки с помощью лазерных сканирующих дальномеров относительно произвольно выбираемой предварительной измерительной базы (ось OZ , рис. 1).

При сканировании поверхности чурака в N сечениях по длине получаем массив значений радиусов профиля чурака относительно измерительной осевой базы – $R(i, j)$, где $i = 1 \dots N$ – номер поперечного сечения; j – индекс измеренных точек в i -м сечении; $j = 0 \dots K$. Сформированный в результате измерений массив является основой для выполнения дальнейших расчетов. Количество точек K , приходящееся на сечение, зависит от принятой угловой частоты дискретизации аналого-цифрового преобразователя измерительной системы и угловой скорости вращения заготовки при измерении.

Для расчета основной технологической оси, которая пространственно ориентирует заготовку по отношению к станочной системе координат при обработке,

* Электронный ресурс: <http://www.raute.ru/ru/index.php>

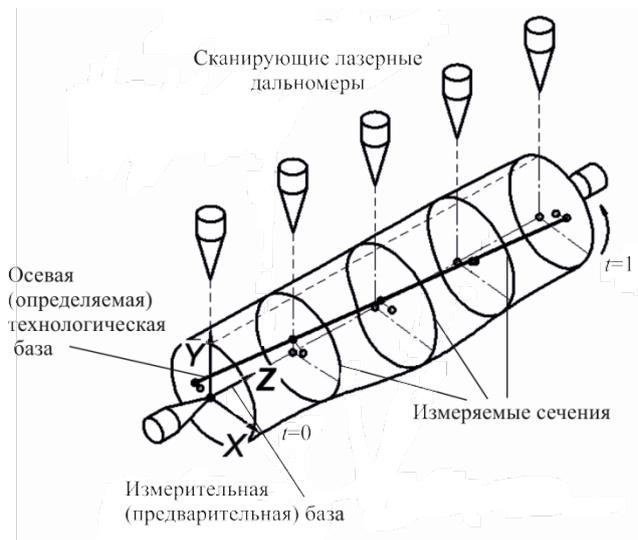


Рис. 1. Схема измерения формы кряжа

определяют центр тяжести i -го поперечного сечения по отношению к измерительной системе координат XOZ по следующим формулам:

$$X_{ц}(i) = \frac{\sum_j \left[\frac{R_{cp}(j)}{2} \right]^3 \sin\left(\frac{\Delta_\phi \pi}{360}\right) \sin\left((\Delta_\phi(j-0,5) - \frac{\pi}{180}) \frac{2}{3}\right)}{\sum_j R_{cp}^2(j) \Delta_\phi}; \quad (1)$$

$$Y_{ц}(i) = \frac{\sum_j \left[\frac{R_{cp}(j)}{2} \right]^3 \sin\left(\frac{\Delta_\phi \pi}{360}\right) \cos\left((\Delta_\phi(j-0,5) - \frac{\pi}{180}) \frac{2}{3}\right)}{\sum_j R_{cp}^2(j) \Delta_\phi},$$

где $X_{ц}(i)$ и $Y_{ц}(i)$ – координаты центра тяжести i -го поперечного сечения

$$R_{cp}(j) = \frac{R(j) + R(j+1)}{2};$$

Δ_ϕ – частота угловой дискретизации (рис. 2).

Определение оптимальной ориентации заготовки при центрировании на станке сводится к нахождению коэффициентов параметрического уравнения технологической оси центров в измерительной системе координат:

$$\begin{cases} x(t) = A + Bt; \\ y(t) = C + Dt; \\ z(t) = Lt, \end{cases} \quad (2)$$

где A , B , C и D – коэффициенты уравнения оси;

t – скалярный нормированный параметр прямой ($0 \leq t \leq 1$);

L – длина заготовки.



Рис. 2. Расчетная схема определения оптимальной оси центров заготовки с большими отклонениями формы

Параметр $t(i)$, определяющий положение измеренного сечения вдоль оси заготовки, связан с его номером следующей зависимостью:

$$t(i) = (i - 1)/(N - 1).$$

Начальная и конечная точки искомой осевой технологической базы принадлежат торцевым сечениям заготовки и определяются параметрами $t(1) = 0$ и $t(N) = 1$ соответственно.

Коэффициенты уравнений (2) определены с помощью метода наименьших квадратов, минимизирующего сумму квадратов расстояний от точек пересечения определяемой оси центрирования заготовки с плоскостями поперечных сечений до центров тяжести соответствующих сечений (рис. 2):

$$\sum_i \left\{ (X_{\text{ц}}(i))^2 + Y_{\text{ц}}(i)^2 - [x^2(t(i)) + y^2(t(i))] \right\} \rightarrow \min. \quad (3)$$

После подстановки уравнений (2) в условие (3) и нахождения частных производных по неизвестным коэффициентам A , B , C и D получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} A \sum_i (1 - t(i))^2 + B \sum_i (1 - t(i)) \cdot t(i) - \sum_i X_{\text{ц}}(i)(1 - t(i)) = 0; \\ C \sum_i (1 - t(i))^2 + D \sum_i (1 - t^2(i)) - \sum_i Y_{\text{ц}}(i)(1 - t(i)) = 0; \\ A \sum_i (1 - t^2(i)) + B \sum_i (t(i))^2 - \sum_i X_{\text{ц}}(i)t(i) = 0; \\ C \sum_i (1 - t^2(i)) + D \sum_i (t(i))^2 - \sum_i Y_{\text{ц}}(i)t(i) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы уравнений (4) относительно неизвестных коэффициентов определит параметрическое уравнение (2) оси оптимального центрирования заготовки. При этом искомые коэффициенты

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\sum_i t^2(i) \sum_i X_{\text{ц}}(1-t(i)) - \sum_i (1-t^2(i)) \sum_i X_{\text{ц}} t(i)}{\sum_i t^2(i) \sum_i (1-t(i))^2 - \sum_i (1-t^2(i))}; \\
 B &= \frac{\sum_i (1-t(i))^2 \sum_i X_{\text{ц}} t(i) - \sum_i (1-t^2(i)) \sum_i X_{\text{ц}}(1-t(i))}{\sum_i t^2(i) \sum_i (1-t(i))^2 - \sum_i (1-t^2(i))}; \\
 C &= \frac{\sum_i t^2(i) \sum_i Y_{\text{ц}}(1-t(i)) - \sum_i (1-t^2(i)) \sum_i Y_{\text{ц}} t(i)}{\sum_i t^2(i) \sum_i (1-t(i))^2 - \sum_i (1-t^2(i))}; \\
 D &= \frac{\sum_i (1-t(i))^2 \sum_i Y_{\text{ц}} t(i) - \sum_i (1-t^2(i)) \sum_i Y_{\text{ц}}(1-t(i))}{\sum_i t^2(i) \sum_i (1-t(i))^2 - \sum_i (1-t^2(i))}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Координаты левого и правого технологических центров относительно измерительной системы координат $(X_{\text{лев}}, Y_{\text{лев}})$ и $(X_{\text{прав}}, Y_{\text{прав}})$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{лев}} &= A; \quad Y_{\text{лев}} = C; \\
 X_{\text{прав}} &= A + B; \quad Y_{\text{прав}} = C + D.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Блок-схема алгоритма оптимизации представлена на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета оптимальной осевой технологической базы фанерного кряжа

В качестве примера на рис. 4 рассмотрена оптимизация пространственной ориентации чураков, имеющих сложную кривизну оси и некруглость поперечных сечений.

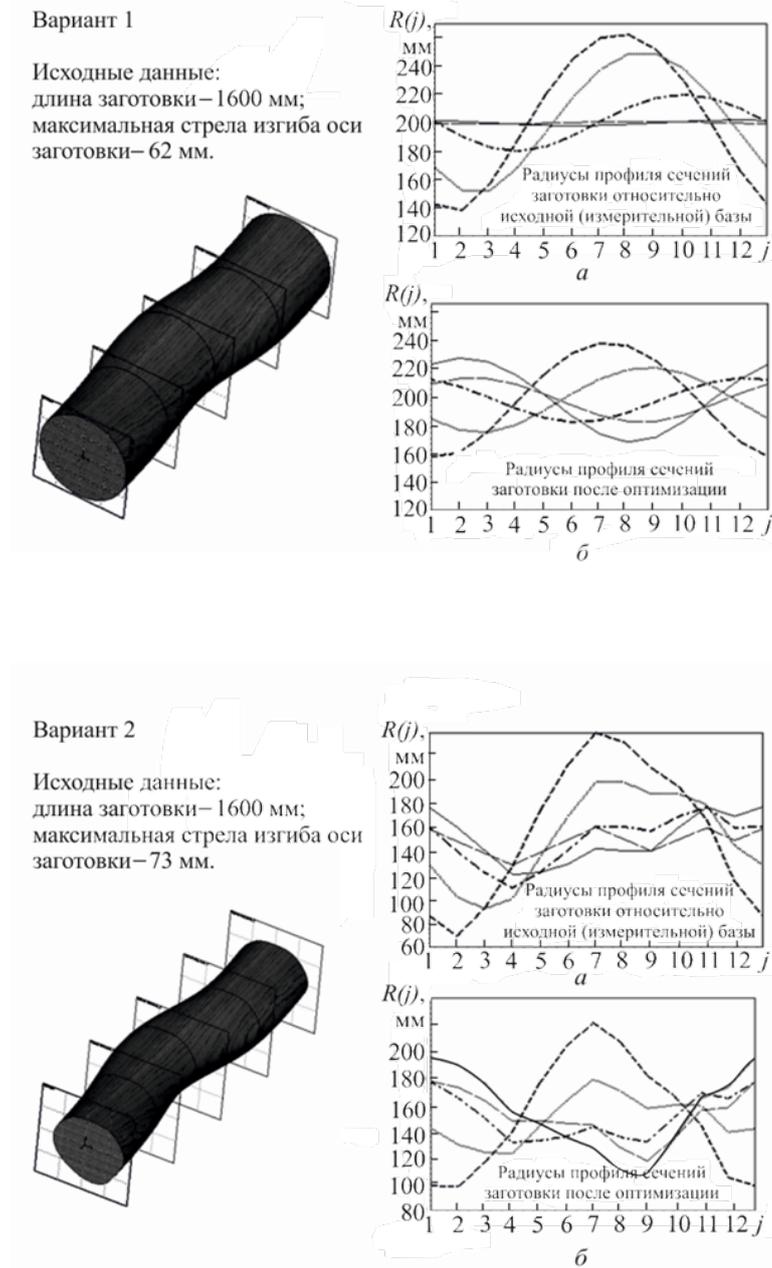


Рис. 4. Исходные данные и результаты расчета оси центров цилиндрических заготовок с большими отклонениями формы:
a – относительно исходной базы, *b* – после оптимизации

Результатом оптимизации явились следующие координаты оптимальных положений центров центрирующего устройства на торцевых сечениях заготовки относительно исходной измерительной базы:

в первом варианте: $X_{\text{лев}} = -23,7$ мм; $Y_{\text{лев}} = -18,1$ мм; $X_{\text{прав}} = -12,2$ мм; $Y_{\text{прав}} = -11,9$ мм;

во втором варианте: $X_{\text{лев}} = -16,7$ мм; $Y_{\text{лев}} = -30,2$ мм; $X_{\text{прав}} = -17,1$ мм; $Y_{\text{прав}} = -17,2$ мм.

При этом прогнозируемый радиус оцилиндровки увеличился на 19 и 31 мм соответственно.

Полученные результаты позволяют сделать вывод об эффективности предложенного подхода к решению задачи определения пространственной ориентации цилиндрических заготовок с большими отклонениями формы. Рассмотренная методика проста в реализации, не требует предварительного гармонического анализа формы поперечных сечений заготовок и не предъявляет никаких требований к выбору исходной измерительной базы.

Поступила 03.03.11

L.V. Kremleva, V.I. Malygin, N.A. Pestov

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

Method of Determination of Optimum Spatial Orientation of Cylindrical Purveyances with the Large Rejections of Form

A mathematical vehicle, method, algorithm of calculation and optimization of spatial orientation of axial technological base of the veneered ridge, is resulted with the large rejections of form and sizes, allowing to increase the useful output of lead. The got results allowed to draw conclusion about efficiency of the developed method of determination of spatial orientation of cylindrical purveyances with the large rejections of form and sizes and possibility of application of the developed algorithm in the systems of the automated management the technological complexes of woodworking productions.

Keywords: veneered ridge, rejections of form, technological base, optimum orientation, lead.

УДК 674.048

**О.А. Куницкая¹, В.Я. Шапиро¹, С.С. Бурмистрова¹, И.В. Григорьев¹,
А.Е. Земцовский²**

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

²Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Куницкая Ольга Анатольевна родилась в 1969 г., окончила в 1996 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет 35 печатных работ в области лесопромышленного производства.

E-mail: tlzp@inbox.ru



Шапиро Владимир Яковлевич родился в 1955 г., окончил в 1977 г. ТОГУ, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет 45 печатных работ в области лесопромышленного производства.

E-mail: tlzp@inbox.ru



Бурмистрова Светлана Сергеевна родилась в 1973 г., окончила в 2006 г. Высшую школу приватизации и предпринимательства, аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет 5 печатных работ в области лесопромышленного производства.

E-mail: tlzp@inbox.ru



Григорьев Игорь Владиславович родился в 1973 г., окончил в 1996 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет 135 печатных работ в области лесопромышленного производства.

E-mail: silver73@inbox.ru



Земцовский Алексей Екимович родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, доцент кафедры древесиноведения и тепловой обработки древесины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 18 печатных работ в области деревообрабатывающих производств.

E-mail: alz@atnet.ru



© Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В., Земцовский А.Е., 2012

ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ И СУШКИ

С позиций механики деформируемого твердого тела и контактных задач разрушения обоснована необходимость разработки математической модели прессования пропитанной древесины в процессе ее сушки под давлением, в рамках которой воздействие сил сжатия может быть различным по своей природе, а по форме штампа – плоским, цилиндрическим, клиновидным и точечным. Одновременное прессование и сушка требуют учета в математической модели закономерностей деформирования древесины в поле высоких температур на базе фильтрационных особенностей обезвоживания насыщенных влагой образцов, а циклический характер действия сил избыточного давления и обусловленные этим фазы упругого и вязкопластического деформирования образцов, включающих их разрушение, – адекватного соответствия временных характеристик релаксации обезвоживания и напряжений по мере развития процесса прессования и сушки.

Ключевые слова: модификация древесины, пропитка древесины, прессование древесины, математическое моделирование пропитки и прессования древесины.

Основными приемами модифицирования древесины являются обезвоживание, пропитка, прессование и термическая обработка, в том числе и сушка. Наряду с этими приемами древесину подвергают воздействию ультразвука, электромагнитных полей, радиации и т. д. [1, 6, 8 и др.]. Материалы для пропитки выбирают исходя из поставленных задач: антисептики, антипирены, специальные вещества (например, парафин – для повышения электрических свойств, карбамид – для повышения пластичности, и т. д.).

Обезвоживание удаляет лишнюю влагу, прессование обуславливает увеличение ее плотности и прочности, термообработка закрепляет приобретенные свойства. Максимальный эффект в ходе модифицирования древесины достигается при оптимизации параметров всех указанных процессов и совместной реализации адекватных технологий. Реализация необходимых при этом технологических процессов невозможна без детального изучения структурных особенностей древесины [3], поскольку именно структура влияет на плотность и проницаемость древесины.

Анализ значимости технологических факторов и показателей получения модифицированной древесины [9] (исходная плотность древесины в абсолютно сухом состоянии ρ_0 , конечная плотности ρ , необходимый предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$, исходная влажность W_0 , влажность в процессе увлажнения W , степень прессования C_p , температура древесины T_d , термообработки и сушки T и др.) позволил сделать вывод, что основными (суммарный удельный вес которых в общей оценке значимости результатов достигает 55 %) показателями эффективности процесса модифицирования древесины являются ρ и $\sigma_{сж}$.

Принимая во внимание результаты исследований [4] при изучении свойств коры деревьев в диапазоне изменения $\rho = 300 \dots 700 \text{ кг/м}^3$, установлено, что между показателями ρ и $\sigma_{сж}$ существует тесная корреляционная связь. Если допустить, что аналогичная связь характерна и для древесины, то можно утверждать, что универсальным превалирующим показателем эффективности модифицирования древесины является ее конечная плотность ρ [9].

В качестве подтверждения данного тезиса на основании обобщения данных [9] для образцов различных пород сухой древесины влажностью не более $W = 5\%$ в диапазоне изменения их плотности $\rho = 700 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$ получена зависимость $\sigma_{сж}$ от ρ , которая с высокой точностью выражается формулой

$$\sigma_{сж} = 116,44 \ln(\rho) - 666,14. \quad (1)$$

Достижение заданной ρ зависит от исходного показателя ρ_0 , который регламентируется плотностью древесного вещества ρ_d и объемной пористостью древесины C_v , % [3]:

$$\rho_0 = \rho_d \left(1 - \frac{C_v}{100} \right), \quad (2)$$

причем ρ_d слабо зависит от породы древесины и изменяется в узком диапазоне $1530 \dots 1540 \text{ кг/м}^3$.

Обобщая данные исследований плотности древесины ρ_0 [5], можно сделать вывод о том, что ρ_0 зависит от диаметра и длины волокон, толщины стенок сосудов, процента поздней древесины, содержания экстрактивных веществ и др. Учесть указанные факторы в совокупности в рамках математической модели с помощью аналитических связей не представляется возможным, в связи с чем было решено использовать средние значения ρ_0 (кг/м^3) для разных пород древесины [3]:

Пихта.....	360
Кедр.....	420
Ель.....	430
Осина.....	430
Сосна.....	440
Береза.....	580
Лиственница.....	560
Ясень.....	640

Увлажнение абсолютно сухой древесины приводит к увеличению плотности, причем рост W до значения $W_r = 30\%$ повышает количество гигроскопической влаги в древесине, а дальнейшее увеличение W не приводит к росту объема образца древесины. Зависимости плотности влажной древесины ρ от W , ρ_0 и коэффициента объемного разбухания C_p приведены в [3] для двух состояний влажности: при $W < W_r$

$$\rho = \rho_0 \frac{100 + W}{C_p W + 100};$$

при $W \geq W_r$

$$\rho = \rho_0 \frac{100 + W}{C_p W_r + 100}. \quad (3)$$

С использованием соотношений (3) на рис. 1 представлен график зависимости относительной величины $K_W = \rho/\rho_0$ от W и C_p .

Как видно из рис. 1, совокупное влияние параметров W и C_p даже в относительно небольшом диапазоне изменения их значений приводит к достаточно существенному (до 30 %) увеличению плотности древесины по сравнению с показателями в абсолютно сухом состоянии. Влияние увлажнения на предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ древесины абсолютно иное.

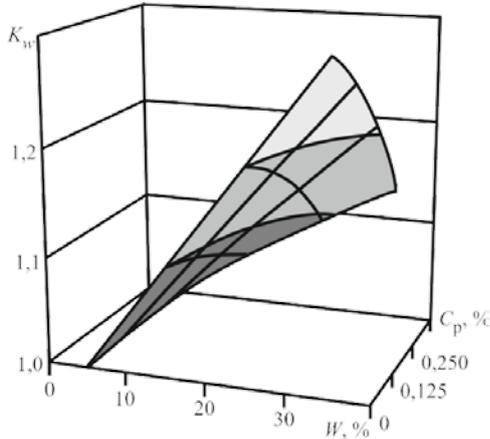


Рис. 1. Влияние влажности W и коэффициента объемного разбухания C_p на относительное изменение плотности влажной древесины $K_w = \rho/\rho_0$

Так, на процесс снижения прочности древесины с ростом влажности в диапазоне изменения $W \leq W_r$ влияет только связанная влага, содержащаяся в клеточных оболочках, причем на 1 % роста W показатель $\sigma_{сж}$ снижается на 2 %.

На рис. 2 при фиксированном значении $C_p = 0,25$ отражены результаты исследования влияния влажности на предел прочности на сжатие древесины для трех значений объемной пористости C_v . Как видно из данных рис. 2, угловой коэффициент в полученных линейных зависимостях, характеризующий интенсивность снижения $\sigma_{сж}$ с ростом W , уменьшается в 2 раза (от $-1,5770$ до $-0,7882$) при увеличении C_v в 5 раз (от 10 до 50 %). Таким образом, для оценки прочности образцов древесины на сжатие можно использовать функцию двух переменных:

$$\sigma_{сж} = (0,0197C_v - 1,7933)W - 1,7748C_v + 204,43. \quad (4)$$

Для повышения пластических свойств древесины широкое применение получили растворы карбамида. Закономерности изменения анатомического строения натуральной и пропитанной раствором карбамида древесины в процессе ее прессования и сушки в различных направлениях подробно изучены в [9], где подчеркивается, что, во-первых, деформационные свойства древесины значительно увеличиваются при прессовании поперек волокон, во-вторых, сама по себе пропитка не приводит к улучшению свойств древесины, а нужный эффект достигается при дальнейшем обезвоживании образцов со снижением влажности от 50 до 2 ... 3 %, причем сушку под давлением осуществляют в циклическом режиме, повышая температуру до 120 ... 140 °С, а давление до 0,7 ... 1,5 МПа. Достижение заданных показателей прессования в 30 ... 50 % случаев происходит в течение 15 ... 20 ч.

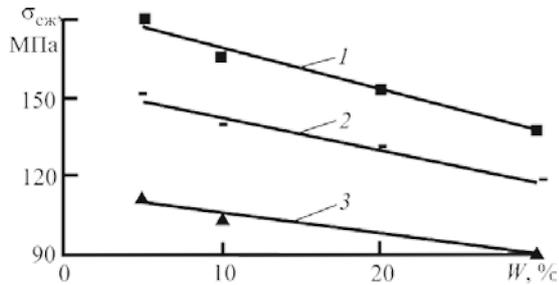


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ древесины от ее влажности W при $C_p = 0,25$ и разной объемной пористости: 1 – 10 % ($y = -1,577x + 184,97$; $R^2 = 0,9761$); 2 – 30 % ($y = -1,2398x + 154,62$; $R^2 = 0,9749$); 3 – 50 % ($y = -0,7882x + 113,98$; $R^2 = 0,9711$)

Циклический характер прессования обуславливает необходимость учета реологических свойств и моделей среды – диаграмм «напряжение–деформация», кривых ползучести, времени релаксации и т.д. Влажность W влияет на все указанные характеристики среды. При этом наличие карбамида ускоряет сорбцию влаги и показатели W обработанной древесины устойчивее и выше, чем аналогичные показатели для натуральной древесины, что важно учитывать в моделях среды при изучении процесса сушки и термообработки.

Наряду с механическими деформациями древесины под давлением в поле высоких температур имеют место и температурные деформации, которые зависят от направления деформирования и коэффициента линейного расширения α древесины, характеризующего увеличение единицы длины материала при нагревании на 1°C .

В табл. 1 приведены значения коэффициента линейного расширения древесины поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях для трех пород древесины [10].

Таблица 1

Порода	Коэффициент линейного расширения поперек волокон $\alpha \cdot 10^{-6}$, град $^{-1}$, в направлении	
	радиальном	тангенциальном
Береза	27,9	33,7
Сосна	29,7	31,3
Осина	26,0	35,9

Как следует из данных табл. 2, для различных пород древесины наблюдается устойчивость значений коэффициента α в различных направлениях поперек волокон. Вдоль волокон аналогичные показатели в 7–10 раз меньше данных табл. 2, т. е. температурный фактор является более существенным при реализации прессования образцов древесины поперек волокон.

Оценить температурные деформации ε_t и обусловленное этим давление p_t в клетках древесины можно, базируясь на основных положениях так называемых температурных задач механики разрушения [2]. В частности, если внутренние элементы материала не имеют возможности свободно деформироваться, то могут возникать большие внутренние напряжения, приводящие к разрушению образца, а температурные деформации пропорциональны величине αT . Таким образом, тепловой поток обуславливает дополнительное температурное давление p_t внутри элементов материала и соответствующие температурные деформации ε_t :

$$P_t = \frac{\alpha E T}{2(1-\nu)}; \quad \varepsilon_t = \frac{P_t}{E}, \quad (5)$$

где E – модуль Юнга;

ν – коэффициент Пуассона.

В частности, при исходных данных для образцов влажной березы ($\alpha = 33,7 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, $W = 50\%$, $\rho = 760$ кг/м 3 , $E = 138$ МПа, $\nu = 0,3$ и $T = 140$ °C) с использованием (5) получено температурное давление $p_t = 0,47$ МПа, которое существенно влияет на процесс прессования древесины.

Очевидно, что характер и закономерности деформирования образцов зависят от способа создания избыточного давления P в определенном температурном поле T , а также от формы и размеров штампа в процессе его воздействия на массив древесины.

Наибольшее распространение получили технологии прессования под плоским прессом (штампом), когда площадь контактной поверхности штампа превосходит или в точности совпадает с площадью образца. В том случае, когда прессование шарообразных образцов осуществляется с помощью плоского пресса, в начальный момент времени имеет место точечный контакт, который по мере развития процесса деформирования древесины трансформируется в плоский случай. В направлении силы сжатия прессование обеспечивает уменьшение диаметра образцов в 2–2,5 раза (например, при производстве шпал – от 250 мм до 100 мм).

Существует технология прессования, когда штамп в виде пуансона давит на плоский клин. Этот случай также можно отнести к технологиям точечного контакта, но при этом давление действует не на всю площадь образца, а является пространственно-переменной величиной при постоянных геометрических параметрах контакта. Отмечается [9], что при данной технологии прессования снижается интенсивность процесса разрушения, представляется возможным повысить скорость прессования V_n образца, его плотность и прочность.

Перспективным, по мнению [3], является случай, когда ширина образца древесины меньше ширины пресса, имеющего искривленный профиль в виде валков, движущихся с заданной скоростью V_b . При таком способе прессования углубление валков на h при начальной высоте образца H вызывает в направлении действия силы сжатия вертикальные деформации $\varepsilon = h/H$, а вертикальное давление для упругого тела

$$q_b = E\varepsilon. \quad (6)$$

Насыщенная влагой древесина рассматривается как упругое фильтрационное тело, а скорость истечения жидкости $V_{ж}$ по мере сжатия валков затухает во времени по экспоненциальной кривой и в соответствии с законом Дарси зависит от следующих параметров: удельного объема порового пространства C_u в объеме древесины, занятого жидкостью; коэффициента проницаемости k_n среды (площади сечения канала s_k пористой среды, в которой происходит фильтрация жидкости); динамической вязкости γ жидкости; скорости прессования V_n (погружения штампа в древесину); ширины b и высоты H образца; высоты погружения штампа h ; q_b и E . В результате выполненных исследований установлены формулы для определения $V_{ж}$ и времени релаксации обезвоживания t_o при истечении жидкости в пределах слоя h :

$$V_{ж} = \frac{C_u V_n}{2(H-h)} \exp\left(- (q_b + E) \frac{4k_n t}{\gamma C_u b^2}\right); \quad (7)$$

$$t_o = \gamma \frac{C_u V_n b^2}{4k_n (q_b + E)}. \quad (8)$$

Из анализа (7) и (8) видно, что влияние температуры термообработки и сушки не учитывается при определении как скорости истечения жидкости, так и времени релаксации обезвоживания, хотя ранее произведенные оценки влияния T на температурные деформации свидетельствуют о том, что при расчете параметров $V_{ж}$ и t_o такой учет необходим. В подтверждении этого отметим, что фактор температуры оказывает существенное влияние и на динамическую вязкость жидкости, в частности воды. Повышение T от комнатной (20 °С) до температуры кипения (100 °С) обуславливает снижение динамической вязкости в 2,5–3 раза, причем этот параметр в силу (8) является линейным коэффициентом при определении времени обезвоживания древесины t_o .

Одним из основных параметров процесса прессования служит q_b , определяемая в соответствии с (6) и учитываемая в (7) и (8). Однако параметры штампа в данной формуле не находят своего отражения. Более точно можно оценить давление q_b , если учесть результаты исследований [10] при вдавливании штампа в различные материалы:

$$q_b = \frac{Eh}{R \arctg\left(\frac{H-h}{R}\right)}, \quad (9)$$

где R – параметр штампа, $R = \frac{2b\left(1 + \frac{b}{H}\right)}{\sqrt{\pi}}$.

Сравним результаты оценки q_b при использовании формул (6) и (9).

На рис. 3 представлен график, характеризующий зависимость степени превышения (Δ) значений давлений прессования q_b , вычисленных по формуле (9), по сравнению с традиционной формулой (6), от отношения b/H . Как видно из данных рис. 3, уже при $b/H < 0,9$ степень превышения Δq_b составляет более 10 %, т. е. расчеты по формуле (9) представляются более обоснованными и точными.

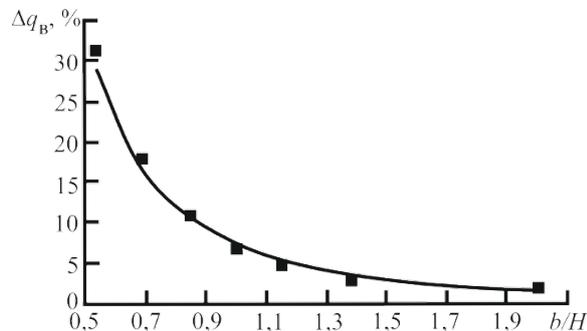


Рис. 3. Зависимость превышения давления Δq_b от формы (b/H) штампа ($y = 7,4749x^{-2,2043}$; $R = 0,9842$)

Таблица 2

Порода	Модуль Юнга, МПа		
	E_v	E_r	E_t
Сосна	11 700	20	500
Ель	14 200	590	360
Дуб	14 000	1 290	910
Береза	15 800	600	450

При определении параметров напряженно-деформированного состояния материала, оценке его реологических свойств и времени релаксации необходима информация о модуле Юнга – одной из основных характеристик процесса упруго-пластического прессования древесины. Результаты исследований [9] свидетельствуют о том, что E зависит от направления прессования, влажности, плотности материала и температуры T . Учет влияния всех перечисленных факторов в рамках одной аналитической формулы представляется неразрешимой задачей, о чем свидетельствуют и выводы [9], когда расхождение опытных данных с теоретическими оценками достигает 3–8 раз.

В табл. 2 при влажности различных пород древесины $W = 15\%$ представлены значения модуля Юнга вдоль (E_v) и поперек волокон в радиальном (E_r) и тангенциальном (E_t) направлениях [7]. При росте (снижении) влажности на 1 % модуль Юнга необходимо уменьшать (увеличивать) на 2 %. Плотность древесины при заданном W уточняется по формулам (3).

Данные табл. 2 свидетельствуют о существенной анизотропии упругих свойств древесины.

При обезвоживании древесины широкое применение получил автоклавный способ создания избыточного давления, когда древесина испытывает объемное сжатие. При автоклавной технологии достигается избыточное давление в 1,5 ... 2,0 МПа, сушка производится при температуре 140 ... 150 °С в течение 12...13 ч. В этом случае удается высушивать древесину, снижая ее влажность от 70 ... 80 до 3 ... 5 %.

Известна также технология прессования без использования пресс-форм. В этом случае рекомендуется циклическое уплотнение образцов с такой скоростью прессования V_p , при которой в заданном температурном поле T поперечная деформация

$$\mu\varepsilon = \frac{\nu}{(1-\nu)}\varepsilon$$

(где μ – коэффициент бокового распора) в течение всего периода времени сушки не превышала бы деформацию усушки ε_y в направлении, перпендикулярном направлению действия сжимающей нагрузки. Деформация ε_y зависит от коэффициента усушки древесины K_y и степени снижения влажности \bar{W} :

$$\varepsilon_y = K_y \bar{W}. \quad (10)$$

Анализ коэффициента K_y усушки ряда образцов древесины поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях показал, что K_y изменяется в широком диапазоне значений, причем усушка в тангенциальном направлении для хвойных пород древесины в среднем в 1,7–1,8 раза превосходит усушку в радиальном направлении, тогда как для лиственных пород снижается до 1,2–1,6. Таким образом, прессование древесины целесообразно производить в направлении минимальной усушки. Если для березы этот фактор можно считать мало-значимым, то для других пород – существенным.

Целью всех перечисленных способов прессования древесины является обеспечение таких параметров процесса, при которых достигается получение образца с заданной плотностью и прочностью без образования трещин и дефектов.

Таким образом, с позиций механики деформируемого твердого тела и контактных задач разрушения необходимо разработать математическую модель прессования пропитанной древесины в процессе ее сушки под давлением, в рамках которой воздействие сил сжатия может быть различным по своей природе (одномерным, двумерным и объемным) и форме штампа (плоским, цилиндрическим, клиновидным и точечным). Одновременное прессование и сушка требуют учета в математической модели закономерностей деформирования древесины в поле высоких температур на базе фильтрационных особенностей обезвоживания насыщенных влагой образцов, а циклический характер действия сил избыточного давления и обусловленные этим фазы упругого и вязкопластического деформирования образцов, исключаяющих их разрушение, – адекватного соответствия временных характеристик релаксации обезвоживания и напряжений по мере развития процесса прессования и сушки различных пород древесины.

По сути перечисленные требования являются исходными данными при разработке математической модели прессования и сушки пропитанной древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винник Н.И. Модифицированная древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 159 с.
2. Партон В.З. Механика разрушения: от теории к практике. Изд. 3-е. М.: Изд-во ЛКИ, 2010. 240 с.
3. Пятакин В.И., Тишкин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 304 с.
4. Повышение эффективности механической окорки лесоматериалов / А.М. Газизов [и др.]. СПб.: СПбГЛТА, 2009. 239 с.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 400 с.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учеб. Изд. 2-е. М.: Академия, 2006. 272 с.
8. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 351 с.
9. Шамаев В.А. Физико-механическое модифицирование древесины. Воронеж: Изд-во ВГЛТА, 2003. 260 с.

10. *Шapiro В.Я., Григорьев И.В., Жукова А.И.* Влияние сдвиговых деформаций на процесс циклического уплотнения почвы // *Естеств. и техн. науки.* 2006. № 1. С. 174–180.

Поступила 06.12.11

O.A. Kunitskaya¹, V.Y. Shapiro¹, S.S. Burmistrova¹, I.V. Grigoriev¹, A.E. Zemtsovskiy²

¹Saint-Petersburg State Forestry University

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

Argumentation of Mathematic Model Initial Conditions for Dehydrating of Wood During Compression and Drying Process

In paper, from positions of mechanics of a strained solid and contact problems of destruction necessity of development of mathematical model of pressing of an impregnated wood during its drying under pressure, within the limits of which is proved: affecting of forces of compression can be various by the nature and under the form of the press tool - flat, cylindrical, wedge-shaped and dot. Simultaneous pressing and drying demand the account in mathematical model of regularity of a straining of wood in a floor of heats on the basis of filtrational habits of dehydration of moisture-laden specimens; cyclic character of act of forces of a gauge pressure and the phases of an elastic and viscous and plastic straining of the specimens expelling their destruction caused by it, demand adequate conformity of time responses of a relaxation of dehydration and pressure in process of evolution of process of pressing and drying.

Keywords: modification of wood, wood impregnation, wood compression, mathematic modeling of wood impregnation and compression.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 541.64:547

**К.Г. Боголицын^{1,2}, А.С. Аксенов¹, И.А. Паламарчук¹, Т.А. Бойцова¹,
О.С. Бровко¹, С.С. Хвиюзов¹, Т.В. Левандовская², В.П. Варламов³**

¹ Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

³ Центр «Биоинженерия» РАН

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

E-mail: bogolitsyn@ierp.ru



Аксенов Андрей Сергеевич родился в 1982 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 40 научных трудов в области химии биополимеров.

E-mail: biopolimer@iepn.ru



Паламарчук Ирина Анатольевна родилась в 1963 г., окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет около 70 научных трудов в области химии древесины.

E-mail: irpalamarchuk@mail.ru



Бойцова Татьяна Александровна родилась в 1962 г., окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 70 научных трудов в области переработки лигнинсодержащих материалов.

E-mail: tboitsova@yandex.ru



© Боголицын К.Г., Аксенов А.С., Паламарчук И.А., Бойцова Т.А., Бровко О.С., Хвиюзов С.С., Левандовская Т.В., Варламов В.П., 2012

Бровко Ольга Степановна родилась в 1960 г., окончила в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 120 научных трудов в области физикохимии биополимеров.
E-mail: brovko-olga@rambler.ru



Хвиюзов Сергей Сергеевич родился в 1984 г., окончил в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 30 научных трудов в области переработки лигнинсодержащих материалов.
E-mail: khiyuzov_s@mail.ru



Левандовская Тамара Владимировна родилась в 1949 г., окончила в 1971 г. Ленинградский государственной институт имени Ленсовета, кандидат химических наук, доцент кафедры химии Северного Арктического федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 научных трудов в области органической и экологической химии.
E-mail: tlevande@rambler.ru



Варламов Валерий Петрович родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Московский институт тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией инженерии ферментов Центра «Биоинженерия» РАН. Имеет более 200 работ в области исследования и использования природных биополимеров.
E-mail: varlamov@biengi.ac.ru

МОДИФИКАЦИЯ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ С ХИТОЗАНОМ*

Синтезированы сополимеры лигносульфонатов с метилакрилатом, предложен механизм радикальной привитой сополимеризации. Получены полиэлектролитные комплексы сополимеров с хитозаном, оценена их устойчивость.

Ключевые слова: сополимеризация, лигносульфонат, полиэлектролитные комплексы, хитозан.

Конструирование макромолекул с заданными свойствами, регулирование их микроструктуры и строения возможно осуществить, используя реакции сополимеризации. В настоящее время привитые сополимеры, интерес к которым неуклонно растет, рассматривают как перспективные гетерополимерные функ-

* Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 16.740.11.0159), Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 11-03-98803а), программы Президиума РАН (№ 12-П-5-1021) и междисциплинарного проекта УрО РАН (№ 12-М-45-2012).

циональные материалы [4]. Успехи в этой области высокомолекулярных соединений определяются, в первую очередь, разработкой эффективных методов синтеза функциональных полимеров на основе доступного, в том числе, природного сырья. Среди природных полимеров предпочтение отдается полисахаридам: хитозану, целлюлозе, альгинатам, крахмалу. Однако в последнее время все чаще в качестве функциональных материалов предлагаются также биополимеры ароматической природы, в частности различные производные лигнина. Доступными и вместе с тем реакционноспособными синтетическими реагентами могут служить винильные мономеры.

Химическая модификация природных полимеров синтетическими позволяет значительно улучшить их эксплуатационные характеристики. Наличие в синтезированных сополимерах новых комбинаций функциональных групп позволяет проводить их дальнейшую химическую модификацию с получением полимер-полимерных комплексов, мембран и оболочек микрокапсул. Представляется перспективным использование для модификации водорастворимого производного лигнина – пленкообразующего синтетического полимера полиметилакрилата (ПМА), сополимеризация с которым может привести к образованию эффективных полимерных реагентов многофункционального назначения, что предопределяет актуальность исследований в этом направлении.

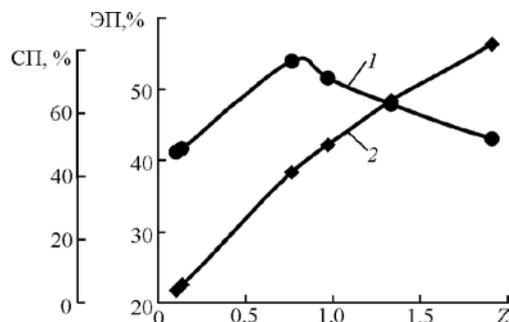
Цель работы – синтез привитых сополимеров лигносульфонатов с метилакрилатом и оценка их способности к образованию полиэлектролитных комплексов с хитозаном.

В качестве объектов исследования использованы: технические лигносульфонаты натрия (ЛСNa), ОАО «Группа «Илим» в г. Коряжма, ТУ 13-0281036-029–94; метилакрилат (МА), ООО «ВитаРеактив», Нижегородская обл., г. Дзержинск, ТУ 2435-003-52470063–2003; хитозан (ХТ) в протонированной форме, ЗАО «Биопрогресс», Московская обл., ТУ 9289-002-11418234–99.

Синтез сополимеров проводили при температуре 95 ... 97 °С в реакторе, снабженном мешалкой, термометром и обратным холодильником. В реактор помещали необходимое количество водного раствора ЛСNa, прибавляли МА при различных соотношениях (*Z*) реагентов, пероксид водорода в качестве инициатора полимеризации и выдерживали до полной конверсии МА. В результате реакции сополимеризации образуются однородные водные дисперсии, методом налива которых на подложку получали полимерные пленки. Затем проводили экстракцию ПМА из продуктов реакции ацетоном на аппарате Сокслета в течение 70 ч. Условия синтеза подобраны на основании исследований [5]. Выделенный после полимеризации продукт представляет собой либо привитой сополимер МА и ЛСNa, либо смеси гомополимеров ЛСNa и ПМА или ПМА и привитого сополимера.

Функциональные группы в образцах определяли по стандартным методикам. Оптическую плотность лигносульфонатсодержащих растворов измеряли на спектрофотометре UV-1800 (фирма «Shimadzu», Япония) при длине волны $\lambda = 470$ нм. ИК-спектры образцов (таблетки в бромиде калия) регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IRAffinity-1 («Shimadzu», Япония) в диапазоне частот 400...4000 см⁻¹.

Рис. 1. Зависимость ЭП (1) и СП (2) от соотношения компонентов $Z = C_{MA}/C_{ЛС}$ в системе ЛСNa-МА

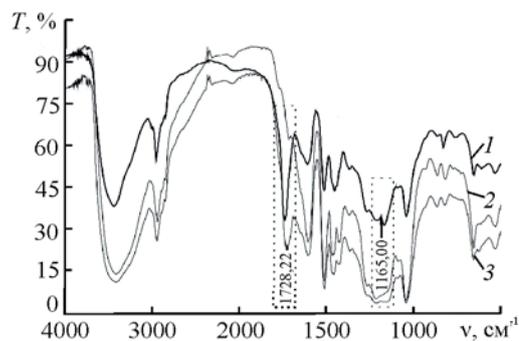


Для характеристики процесса сополимеризации использовали следующие показатели: эффективность прививки (ЭП) – отношение количества мономера МА, вошедшего в привитой сополимер, к количеству заподимеризовавшегося мономера; степень прививки (СП) – отношение количества МА, вошедшего в привитой сополимер, к массе ЛСNa (рис. 1).

С увеличением доли МА в системе степень прививки возрастает, однако при самой высокой СП и практически 100 %-й конверсии мономера ЭП составляет лишь 43 %, что объясняется протеканием, наряду с сополимеризацией, процесса гомополимеризации МА. Снижение ЭП при малых концентрациях МА в системе может быть связано с большей миграционной способностью молекул мономера по сравнению с макромолекулами ЛСNa, в результате чего преобладают столкновения олигомерных акриловых радикалов с мономером. Продукт синтеза во всех случаях представляет собой смесь гомополимера ПМА и привитого сополимера ЛСNa и МА.

Вследствие сложности процесса сополимеризации, гетерогенности полимеризационной системы, нерегулярности структуры лигнина к настоящему времени еще не сложились единые представления о механизме радикальной прививки мономеров к водорастворимым производным лигнина несмотря на значительный интерес исследователей к этому вопросу. Нами предложен возможный механизм этого процесса с учетом данных ИК-спектроскопии (рис. 2) и функционального анализа.

Рис. 2. ИК-спектры ЛСNa-МА, $Z = 1$ (1); ЛСNa (2); ЛСNa-МА, $Z = 0,1$ (3)



Функциональный состав (% к а. с. в.)
исследуемых образцов

Показатель	ЛСNa	ЛСNa-МА
-OCH ₃	10,5±0,4	11,2±0,6
-OH _{общ}	6,2±0,4	9,2±0,2
-COOH	1,04±0,02	1,66±0,01
-SO ₃ H, %	13,4±0,3	12,8±0,4

Полосы поглощения, обусловленные скелетными колебаниями ароматического кольца, проявляются при 1602, 1510, 1450...1420 см⁻¹; валентные колебания групп S=O сульфатов – при 1360 см⁻¹. Интенсивность полосы с частотой 1714 см⁻¹ незначительна и соответствует поглощению карбонильных групп ЛСNa [2]. ИК-спектры продуктов привитой сополимеризации в целом сохраняют характер спектра исходного ЛСNa, но по сравнению с ЛСNa в них появляется полоса поглощения в области 1660 см⁻¹, характерная для сопряженных кетонных карбонил. При росте доли МА наблюдается значительное увеличение относительной оптической плотности полос при 1730 и 1166 см⁻¹, обусловленных поглощением карбонильных групп и эфирных связей сложноэфирных группировок, входящих в состав ПМА.

В таблице представлен функциональный состав ЛСNa и сополимера ЛСNa-МА.

Процесс иницирования характеризуется двумя последовательными реакциями:

разложение инициатора (H₂O₂) с образованием свободных радикалов

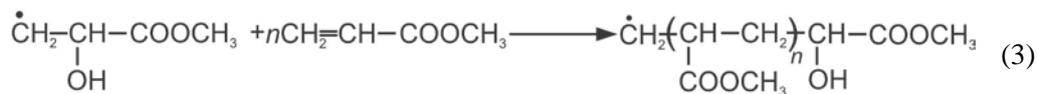


взаимодействие радикала с субстратом с образованием активного центра свободнорадикального типа, при этом в качестве субстрата может выступать как макромолекула ЛСNa, так и молекула МА:

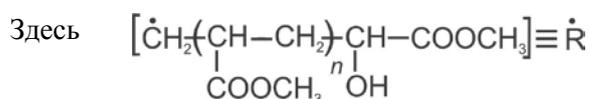
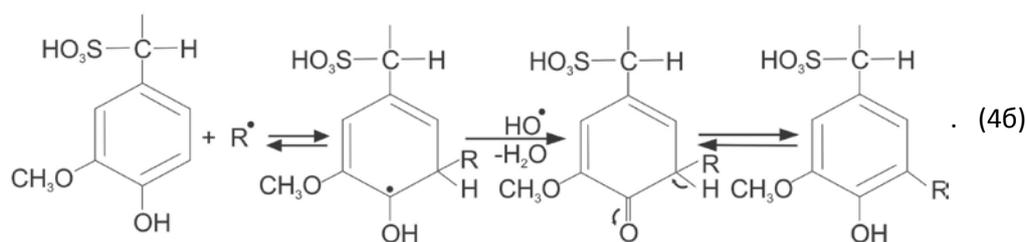
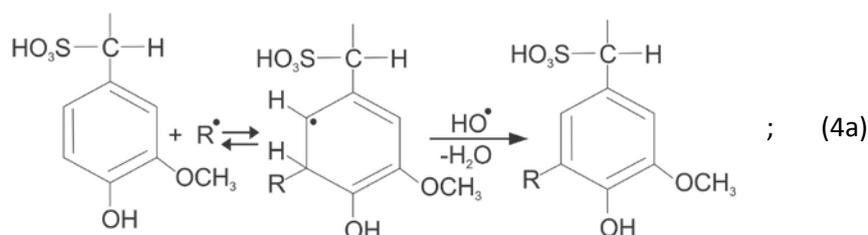


Поскольку во всех экспериментах наблюдалось образование гомополимера ПМА и в ИК-спектрах полученных сополимеров отсутствовали полосы поглощения при 1640 см⁻¹, характерные для винильной группы, а также с учетом большей стабильности бензольного кольца по сравнению с двойной связью МА, предпочтительней выглядит второй вариант.

Далее возможна гомополимеризация МА:



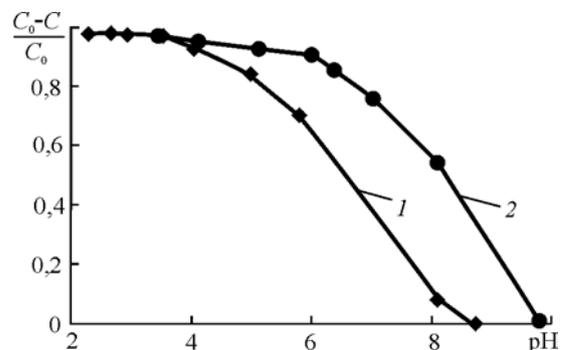
Прививка на лигносульфонат может осуществляться за счет обрыва цепи реакционным центром в *o*-положении к фенольному гидроксилу (поскольку *m*-положения пространственно затруднены) по следующим схемам:



Предложенный механизм не предполагает отрыва гидроксильным радикалом атома водорода от фенольного гидроксила, как показано в работе [1], поскольку в этом случае невозможно объяснить рост содержания гидроксильных групп в сополимере. Напротив, эти данные хорошо объясняются вхождением гидроксила в каждый олигомерный радикал гомополимера. Находит также объяснение и появление в ИК-спектре полосы поглощения при 1660 см^{-1} (схема 4б). Замещенные арены менее ароматичны, чем незамещенные, поэтому сохранение кетонной таутомерной структуры вполне вероятно. Возможно также участие в привитой сополимеризации алифатических двойных связей ЛСNa, однако стерический фактор и степень сопряженности связей может сильно затруднять такую прививку, кроме того, фрагментов с двойной связью в макромолекуле ЛСNa незначительное количество, поэтому вклад этой реакции в процесс сополимеризации невелик.

Так как в ходе сополимеризации доля сульфогрупп не меняется, а количество общих гидроксильных и карбоксильных групп в образцах растет (см. таблицу), то привитой сополимер имеет более выраженный полиэлектролитный характер. Следует отметить, что метод привитой сополимеризации позволяет осуществить модификацию, не затрагивая основные функциональные группы, определяющие способность к комплексообразованию водорастворимых лигнинов, что позволяет предположить, что полученный сополимер может кооперативно взаимодействовать с противоположно заряженным катионоактивным хитозаном.

Рис. 3. Зависимость относительной концентрации ЛСNa и ЛСNa-МА ($Z = 0,1$) в комплексе от pH реакционной смеси в системах ЛСNa – ХТ (1) и ЛСNa-МА – ХТ (2) при $C_0 = 2,5$ г/л



Ранее нами были изучены полиэлектролитные комплексы (ПЭК) на основе ЛСNa и ХТ [3], недостатком которых является узкий диапазон pH-устойчивости. При переходе от системы ЛСNa – ХТ к системе ЛСNa-МА – ХТ область pH-устойчивости ПЭК, полученных при эквимольных соотношениях взаимодействующих функциональных групп, расширяется (рис. 3). Высокая степень связывания лигнинного компонента в комплекс (0,90...0,98) для системы ЛСNa – ХТ достигается при pH 2,0...4,5, а для системы ЛСNa-МА – ХТ – при pH 2,0...6,5. По-видимому, более pH-устойчивые ПЭК ЛСNa-МА – ХТ образуются за счет ковалентного связывания ПМА и ЛСNa и увеличения числа функциональных групп в сополимере, способных вступать в кооперативные взаимодействия: гидроксильных групп в относительно коротких привитых цепочках ПМА и карбоксильных групп, образовавшихся в результате частичного гидролиза сложноэфирных связей.

Таким образом, методом радикальной сополимеризации ПМА и лигносульфонатов получены и охарактеризованы привитые сополимеры. Показано, что введение в макромолекулу ЛСNa звеньев ПМА приводит к повышению pH-устойчивости ПЭК с хитозаном. Такая система может быть востребована при создании функциональных полимер-полимерных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлин А.А. Химическое модифицирование лигнина путем привитой полимеризации виниловых мономеров (обзор) // Химия древесины. 1982. № 1. С. 3–24.
2. Гордон А., Форд Р. Спутник химика / пер. с англ. М.: Мир, 1976. 541 с.
3. Кооперативные взаимодействия в системе лигносульфонат – хитозан / И.А. Паламарчук [и др.] // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 29–34.
4. Привитые сополимеры с химически комплементарными компонентами – особый класс высокомолекулярных соединений / Т.Б. Желтоножская [и др.] // Успехи химии. 2004. Т. 8, № 73. С. 877–896.
5. Розенберг Л.В., Берлин А.А., Визгерт Р.В. Привитые сополимеры на основе лигносульфоната // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1972. № 5. С. 16–17.

Поступила 20.10.11

*K.G. Bogolitsyn^{1,2}, A.S. Aksonov¹, I.A. Palamarchuk¹, T.A. Boitsova¹, O.S. Brovko¹,
S.S. Khviuzov¹, T.V. Levandovskaya², V.P. Varlamov³*

¹ Institute of Ecological Problems of the North Ural Division on the Russian Academy of Science

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

³ Centre “Bioengineering”, RAS

Modification of Lignosulfonates and Assessment of Lignosulfonate–Chitosan Complex Formation Ability

Lignosulfonates-methylacrylate copolymer is synthesized. Mechanism of radical graft copolymerization is proposed. Copolymer-chitosan polyelectrolyte complexes are obtained, their stability is estimated.

Keywords: copolymerization, lignosulfonate, polyelectrolyte complexes, chitosan.

УДК 676.16

М.Е. Романов, Т.А. Королева, Л.А. Миловидова

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

Романов Максим Евгеньевич родился в 1982 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, инженер-технолог ООО «БКТ–Сервис», аспирант кафедры ТЦБП САФУ. Имеет 3 печатных работы в области технологии варки и отбелки сульфатной целлюлозы.
E-mail: r_maxim@mail.ru



Королева Татьяна Алексеевна родилась в 1974 г., окончила в 1996 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры ТЦБП Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 20 печатных работ в области исследования процессов отбелки целлюлозы.
E-mail: tataak@mail.ru



Миловидова Любовь Анатольевна родилась в 1946 г., окончила в 1970 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии ЦБП Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 печатных трудов в области производства белых волокнистых полуфабрикатов.
E-mail: lmilovidova@mail.ru



ВЛИЯНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ И ПАРАМЕТРОВ СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЛЬФАТНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Проанализирована актуальность проблемы увеличения объемов производства целлюлозы за счет повышения доли березовой древесины в составе древесного сырья, приведены данные по скорости варки, выходу целлюлозы, найдены оптимальные условия варки.

Ключевые слова: породный состав, сульфатная варка, характеристики сульфатной целлюлозы.

В настоящее время лиственная беленая сульфатная целлюлоза пользуется повышенным спросом, поскольку является основным материалом при производстве писчих и печатных видов бумаги. Такая ситуация заставляет предприятия искать возможности роста объемов производства этого вида полуфабриката. Одним из путей увеличения выработки целлюлозы по варке может быть повышение доли березовой древесины в составе древесного сырья.

© Романов М.Е., Королева Т.А., Миловидова Л.А., 2012

Таблица 1

Зависимость показателей лиственной сульфатной целлюлозы при варке смеси березы и осины в соотношении 1:1 [2] от условий варки

Температура, °С	Продолжительность стоянки на конечной температуре*, мин	Концентрация варочного раствора, г/л	Показатели целлюлозы *			
			Число каппа	Выход целлюлозы, %	Вязкость, мл/г	Концентрация остаточной щелочи, г/л
160	60	55	16,6	53,3	900	28,5
	90		12,3	53,4	870	30,0

* Здесь и далее, в табл. 2, 3, среднее значение по трем результатам.

Большинство предприятий, вырабатывающих беленую лиственную целлюлозу, используют смесь березы и осины в соотношении 1:1. Такой состав древесного сырья позволяет проводить варку в относительно мягких условиях и получать целлюлозу в широком диапазоне значений числа каппа.

Практика работы Российских предприятий и результаты выполненной ранее работы [2] показали (табл. 1), что при варке смеси березовой и осинового щепы (соотношение 1:1) в условиях работы варочной установки на проектной производительности число каппа целлюлозы после варки составляет 12...14 и 18...20 ед. при выходе соответственно 51,0...52,0 % и 52,7 ... 53,0 %.

При получении целлюлозы с числом каппа 12...14 ед. можно отказаться от ступени кислородно-щелочной обработки (КЩО). В этом случае суммарный расход диоксида хлора при отбелке будет таким же, как для целлюлозы с числом каппа 18...20 ед. при включении в схему отбелки КЩО [1].

Рассматривая вариант увеличения доли березовой древесины на варку, следует ожидать снижения весового выхода целлюлозы и замедления скорости варки. Из-за этих особенностей при варке щепы с повышенной долей березовой древесины, в случае сохранения временных параметров действующей варочной установки, потребуется корректировка режима варки.

На основании вышесказанного нами был проведен лабораторный эксперимент, который позволял решить следующие задачи:

установить влияние увеличения содержания доли березовой древесины до 70 % на скорость варки и выход целлюлозы;

определить условия варки, позволяющие сохранить временной режим варочного котла при увеличении содержания доли березовой древесины до 70 % и получении целлюлозы с числом каппа 17...19 ед.

Согласно действующему регламенту варочной установки при производительности варочного котла 950...1000 т /сут длительность стоянки на конечной температуре не должна превышать 40 мин. В соответствии с этим были выбраны следующие интервалы параметров варки лиственной древесины:

Результаты варок приведены в табл. 2, 3 и на рис. 1–3.

Породный состав щепы.....	70 % березы и 30 % осины
Характеристика щепы.....	Воздушно-сухая, нормальной фракции, остаток с сит №10, 20 (1:1)
Гидромодуль.....	4
Концентрация активной щелочи в варочном растворе, ед. Na ₂ O.....	58...62 г/л соответствует расходу активной щелочи 17,5...18,5 % при гидромодуле 3
Концентрация активной щелочи в белом щелоке, ед. Na ₂ O.....	100
Сульфидность белого щелока.....	37 %
Продолжительность	20...80 мин
Температура	150...159 °С
Режим.....	Стоянка 75 мин при температуре 120 °С; подъем до температуры варки 60 мин; продолжительность варки от 20 до 100 мин

Таблица 2

Зависимость показателей лиственной сульфатной целлюлозы и черного щелока от условий варки

Температура, °С	Продолжительность стоянки на конечной температуре, мин	Концентрация варочного раствора, г/л	Показатели целлюлозы *			
			Число каппа	Выход сортированной целлюлозы, %	Непровар, %	Концентрация остаточной щелочи, г/л
150	40	58	32,0	50,4	6,2	28,5
	40	60	22,9	52,9	0,4	27,9
	40	62	20,7	53,0	0,7	27,6
	60	58	22,9	52,9	0,4	27,9
	80	58	20,7	53,0	0,7	27,6
153	40	58	26,4	51,3	4,0	24,8
	40	60	23,8	50,3	4,5	29,5
	40	62	24,6	50,8	3,6	29,1
	60	58	21,3	52,5	2,0	24,5
	60	60	17,5	50,5	–	25,2
	60	62	15,6	50,5	–	25,6
	80	58	17,6	52,8	–	25,0
	80	60	14,8	52,0	–	25,1
	80	62	14,1	51,3	–	25,0
156	40	58	20,5	52,6	–	26,7
	40	60	17,2	51,5	–	30,0
	40	62	16,2	50,4	–	31,1
	60	58	18,9	52,4	–	26,0
	60	60	16,0	50,0	–	28,9
	60	62	14,8	50,1	–	28,2
	80	58	18,1	52,6	–	25,0
	80	60	14,3	50,9	–	24,8
	80	62	14,4	51,0	–	25,3
159	20	58	24,3	49,1	6,6	26,4
	30	58	25,0	47,0	8,0	26,5
	40	58	18,3	51,4	0,1	23,6
	60	58	16,5	51,9	–	23,4

Таблица 3

Режимы варок целлюлозы с числом каппа 17...19 ед.

Температура, °С	Продолжительность стоянки на конечной температуре, мин	Концентрация варочного раствора, г/л	Показатели целлюлозы	
			Число каппа	Вязкость, мл/г
153	80	58	17,6	950
156	60	58	18,9	950
156	80	58	18,1	1000
159	40	58	18,3	1100
153	60	60	17,5	1000
156	40	60	17,2	1100

Как видно из представленных данных, целлюлоза с числом каппа 17...19 ед. при заданной продолжительности стоянки 40 мин может быть получена только при температуре варок 156 и 159 °С. При этом значения вязкости целлюлозы для интервала каппа 17...19 ед. (табл. 2) и оценка избирательности варок в интервале температуры 153...159 °С (см. рис. 1) свидетельствуют о незначительности влияния повышения температуры на избирательность варки. Следовательно, при содержании в щепе 70 % березовой древесины этот интервал температур безопасен с точки зрения сохранения выхода и вязкости целлюлозы.

Сравнение результатов варок лиственной щепы до числа каппа целлюлозы 20...21 ед. дает возможность оценить влияние изменения концентрации активной щелочи и температуры на скорость варочного процесса (рис. 2, 3).

Так, при варке на температуре 150 °С были получены образцы целлюлозы с числом каппа 20,7 ед. за 80 мин стоянки на конечной температуре при концентрации активной щелочи 58 г/л и за 40 мин при концентрации активной щелочи 62 г/л. При повышении концентрации активной щелочи на 4 г/л или расхода активной щелочи на 1% от массы древесины одинаковое значение числа каппа достигается за 40 мин стоянки на конечной температуре. Повышение температуры до 153 °С при концентрации активной щелочи 58 г/л привело к сокращению продолжительности стоянки на 20 мин, а повышение температуры варки до 156 °С при той же концентрации активной

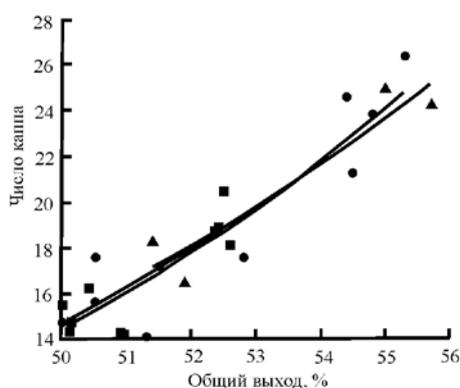


Рис. 1. Влияние температуры варки на избирательность варочного процесса: ● – 153 °С; ■ – 156; ▲ – 159 °С

щелочи сократило продолжительность стоянки еще на 20 мин (рис. 2, кривые 1, 2; рис. 3; табл. 2).

Аналогичные закономерности сохраняются для целлюлозы с числом каппа 17...18 ед. (табл. 3): при температуре варки 153 °С и концентрации активной щелочи 60 г/л, а также 156 °С и 58 г/л продолжительность стоянки составила 60 мин; при температуре варки 159 °С и концентрации активной щелочи 58 г/л – 40 мин.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) увеличение доли березовой древесины в составе лиственной щепы от 50 до 70 % приводит к снижению весового выхода целлюлозы на 1,0...1,5 % при числе каппа 17...19 ед.;

2) повышение температуры варки на 3°С при варке лиственной щепы, содержащей 70 % березовой древесины, позволяет сократить на 20 мин продолжительность стоянки при постоянной концентрации активной щелочи в щелоке;

3) изменение температуры варки лиственной щепы, содержащей 70 % березовой древесины, в интервале конечных температур варки 150...159 °С не снижает избирательность варочного процесса при получении целлюлозы с числом каппа 17...19, т. е. для сохранения необходимой скорости варки может быть повышена температура варки без изменения концентрации активной щелочи (расход активной Na_2O на варку 17,5 % от массы древесины).

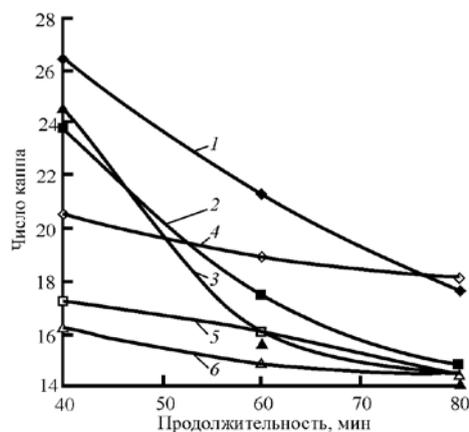


Рис. 2. Влияние продолжительности стоянки и температуры варки на число каппа целлюлозы: 1 – 3 – 153 °С; 4 – 6 – 156 °С; 1, 4 – концентрация варочного щелока 58 г/л; 2, 5 – 60; 3, 6 – 62 г/л

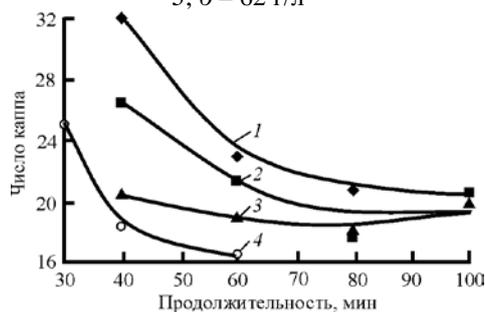


Рис. 3. Влияние продолжительности стоянки и температуры варки на число каппа целлюлозы (концентрация варочного щелока 58 г/л): 1 – 150 °С; 2 – 153; 3 – 156; 4 – 159 °С

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королева Т.А., Миловидова Л.А., Комарова Г.В. Особенности бесхлорной отбелки сульфатной лиственной целлюлозы // PAP-FOR RUSSIA 2000. The sixth international technical conference: Book of Information Papers. СПб.: Изд-во АО ВНИИБ, 2000. С. 28–32.

2. Особенности варки лиственной сульфатной целлюлозы / Севастьянова Ю.В. [и др.] // Проблемы развития Российской целлюлозно-бумажной промышленности: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., 2003 г., Москва. С. 107.

Поступила 13.04.11

M.E. Romanov, T.A. Koroleva, L.A. Milovidova

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

The Influence of Raw Material Species Composition and Kraft Pulp Parameters on the Characteristics of Kraft Hard Wood Pulp

Topical questions of increasing pulp production due to the increased share of birch wood in raw materials composition are analysed, the data on pulping speed and pulpyield are given, the optimal conditions of pulping are proposed.

Keywords: species composition, kraft pulping, kraft pulp characteristics.

УДК 676.017

А.И. Дернов, Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев

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

Дернов Александр Игоревич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. САФУ, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ. Область научных интересов – исследование свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.
Тел.: 8 (8182) 65-00-92



Дьякова Елена Валентиновна родилась в 1977 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ. Имеет более 50 печатных работ в области исследования свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.
Тел.: 8 (8182) 65-00-92



Гурьев Александр Владиславович родился в 1965 г., окончил в 1990 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ. Имеет около 120 печатных работ в области технологии получения тарного картона и современных методов оценки его качества.
Тел.: 8 (8182) 65-00-92



ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН. ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Представлен обзор источников, посвященных вопросу, который регулярно возникает в исследовательской практике и в реальном производстве: о целесообразности контроля прочности отдельных волокон в целях изучения и прогнозирования структурообразования и физико-механических характеристик бумаги.

Ключевые слова: целлюлозное волокно, прямые методы, деформация, разрывная длина, косвенные методы, прочность.

Структура бумаги представляет собой многослойную волокнистую сетку, имеющую с одной стороны дискретно-анизотропный характер распределения волокон, с другой – стохастический механизм межволоконного связеобразования. Вследствие этого прочностные, деформационные и прочие свойства структуры бумаги обусловлены двумя основными составляющими: собственной прочностью отдельных волокон и степенью межволоконных

взаимодействий. Какая из этих составляющих будет превалировать, зависит от природы полуфабрикатов, вида продукции и основных параметров ее изготовления.

Цель нашей работы – изучение вопроса, который регулярно возникает в исследовательской практике и в реальном производстве: о целесообразности контроля прочности отдельных волокон для изучения и прогнозирования структурообразования и физико-механических характеристик бумаги.

Все методы анализа прочности целлюлозных волокон подразделяются на две группы: прямые предполагают испытание отдельных волокон, в основном, на разрыв, косвенные – множества (совокупности) волокон непосредственно в структуре сухой или влажной бумаги при нулевой базе испытаний на растяжение. При этом получаемые результаты выражают в показателях прочности структуры на линии разрыва (например, нулевой разрывной длины) и не относят к отдельному усредненному по свойствам волокну, что является основным допущением косвенных методов, а зачастую, и критическим аргументом, не позволяющим считать их результаты отражением истинной прочности отдельных волокон.

Прямые методы измерения прочности волокна, хотя и направлены непосредственно на объект исследования, также имеют ряд ограничений, налагаемых методическими и аппаратными особенностями проведения измерения. Остановимся на некоторых из них более подробно.

Основные затруднения с точки зрения разработки и использования установок для подготовки образцов и проведения испытаний связаны с относительно малыми размерами волокон целлюлозы (характерная длина – 1,5...3,5 мм, ширина – 25...40 мкм) и выбором надежного и воспроизводимого способа закрепления волокна в зажимах при его испытании на растяжение.

Традиционный способ механического закрепления концов волокон приводит к преждевременному разрушению более половины образцов именно в области зажимов разрывной машины, что является следствием сжатия клеточной стенки и критическим снижением поперечного сечения волокна. Также серьезным недостатком механического закрепления волокон служит проскальзывание образца в зажимах.

Другой известный способ закрепления волокон основан на использовании специальных этикеток из бумаги или другого материала, на которые приклеивается исследуемое волокно. Однако и у этого способа есть недостатки. Во-первых, клей может пропитывать структуру волокна, что вносит дополнительную погрешность в результаты измерений, во-вторых, он не всегда обеспечивает достаточную степень закрепления, что приводит к выскальзыванию образца при приложении нагрузки, в-третьих, возникают сложности с надежной фиксацией изогнутых волокон.

Развитие прямых методов определения прочности волокон целлюлозы за последние 50 лет отражено в работах известных авторов [2–5, 7–9].

Еще в 1963 г. N. Hartler [5] установил, что при испытаниях неидеально ровных волокон в 40...50 % случаев наблюдается образование деформаций структуры клеточной стенки в непосредственной близости от места закрепления волокна, что приводит к возникновению областей с повышенной концентрацией напряжений и занижению результатов испытаний.

Подобный эффект в 1974 г. также отметил I. Furukawa [3], предположив, что при использовании неровных волокон результаты измерений занижаются, поскольку часть прилагаемой к образцам нагрузки затрачивается на их выпрямление.

P.C. Kersavage [7] в 1973 г. разработал способ закрепления концов волокон, исключаяющий большинство из указанных выше недостатков. По его методике на концы волокна наносят капельки эпоксидной смолы, застывающей в виде шариков, которые после высыхания могут быть использованы в качестве опоры, фиксирующей волокно в зажимах (рис. 1).

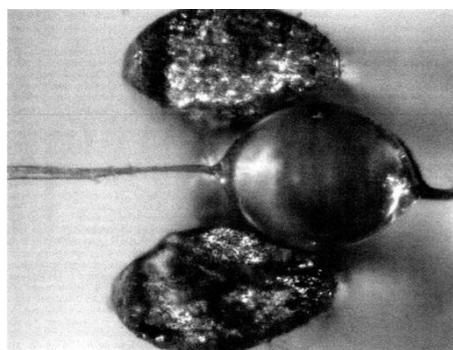


Рис. 1. Система закрепления волокна с помощью шарика и отверстия, предложенная P.C. Kersavage [7]

Преимуществом подобного способа является сведение к минимуму неизбежного перекручивания волокна вдоль оси при его закреплении, что является основной причиной преждевременного разрушения образца в процессе испытаний.

P.C. Kersavage установил, что при использовании такого способа фиксации, значения сопротивления волокна разрыву выше, чем при других способах закрепления. Однако автор не упомянул об одном существенном факторе, способном повлиять на результаты испытаний: эпоксидная смола, подобно обычному клею, может в разной степени пропитывать волокно.

Годом позже I. Furukawa [3] предложил испытательную установку для исследования сопротивления древесных волокон разрыву при растяжении. Для визуального контроля процесса разрыва она была совмещена со сканирующим электронным микроскопом. Вначале для придания образцам проводимости их подвергали напылению золотом, однако оно явно влияло на прочность волокна, поэтому установка была усовершенствована – волокно горизонтально закрепляли на специальной алюминиевой этикетке, которую затем помещали в зажимы испытательной установки.

Исследования I. Furukawa показали, что усилие, необходимое для разрушения волокон, составляет 196...392 мН. При этом абсолютное удлинение волокон длиной 1,5 мм не превышало 50 мкм. В некоторых случаях была обнаружена значительно меньшая нагрузка при разрыве. Автор приписал этот

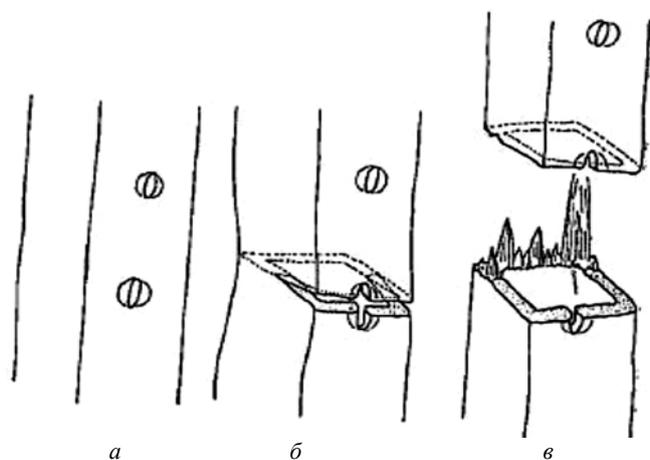


Рис. 2. Схематическое изображение процесса разрушения древесного волокна: *а* – волокно перед разрушением; *б* – первая стадия разрушения; *в* – заключительная стадия (разрыв)

эффект повреждению оболочек клеточной стенки волокна за счет воздействия излучения сканирующего электронного микроскопа. Указанный эффект проявляется в виде повышения хрупкости сканируемых участков клеточной стенки и преимущественного разрушения волокна на данных участках (рис. 2).

Альтернативные данные о значениях разрушающих нагрузок получены в 1995 г. L. Mott [8] при исследовании механических свойств первичных и вторичных волокон. Он также проводил испытания с помощью сканирующего электронного микроскопа, для закрепления волокон использовал методику P.C. Kersavage. При скорости испытания 1 мкм/с значения разрушающих нагрузок варьировались в диапазоне 44...112 мН. Было установлено, что первичные волокна разрушались в основном в области сегментов клеточной стенки, имеющих видимые дефекты. Вместе с тем было обнаружено, что разрывное усилие, необходимое для разрушения вторичных волокон, больше, чем для первичных. L. Mott объяснил этот факт эффектом внутреннего расслаивания клеточной стенки, который проявляется во вторичных волокнах.

Нарушение целостности клеточной стенки вторичных волокон, проявляющееся в виде частичного или полного отслаивания слоя S1 от слоя S2, может приводить к тому, что вначале разрушается слой S1 как более тонкий и менее структурно ориентированный с точки зрения угла наклона микрофибрилл к оси волокна. При этом слой S2 как основной и наиболее структурированный проявляет способность к большему сопротивлению растяжению. Поэтому можно сделать вывод, что первичное волокно менее прочное, так как испытывает одновременное напряжение в слоях S1 и S2 до момента разрыва.

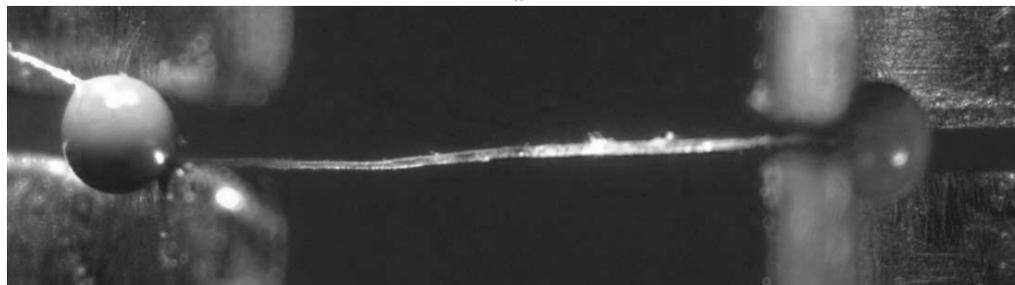
L. Groom [4] в 2002 г. оценил влияние времени формирования клеток (весенних и осенних трахеид) на механические свойства волокон сосны и установил, что осенние волокна имеют более высокое сопротивление разрыву, но для их разрушения необходимо меньшее разрывное усилие. И наоборот, весенние волокна выдерживают большее разрывное усилие, но имеют более низкое сопротивление разрыву при растяжении. Такие особенности механического поведения обусловлены различиями в толщине клеточной стенки, а следовательно, и в площади ее поперечного сечения.

Подобные исследования в 2008 г. провел М. Eder [2] на волокнах весенней, летней и осенней древесины норвежской ели. Автор, подтвердив основные результаты L. Groom, установил линейный характер отклика волокон на приложение нагрузки вплоть до разрушения.

Самое подробное и обстоятельное из обнаруженных нами исследований механических свойств отдельных целлюлозных волокон было опубликовано в 2010 г. Ф. Peters [3], который отразил все несовершенство существующих в настоящее время прямых методов испытаний и провел собственные исследования прочности волокон. Волокна для испытаний вытаскивали из разорванных образцов тарного картона и товарной целлюлозы с помощью пинцета. Измерения проводили с использованием специального модуля для разрывной машины, предназначенного для испытаний длинных полимерных волокон. Для закрепления волокон в зажимах разрывной машины применяли



а



б

Рис. 3. Разрыв волокна далеко (*а*) и близко (*б*) от эпоксидных шариков

эпоксидную смолу по способу P.C. Kersavage. Предварительно было проведено скрупулезное уточнение методики на предмет эффективности закрепления волокна за счет подбора вида эпоксидной смолы, соотношения смолы и отвердителя, времени высыхания клея и способов его нанесения на концы образцов.

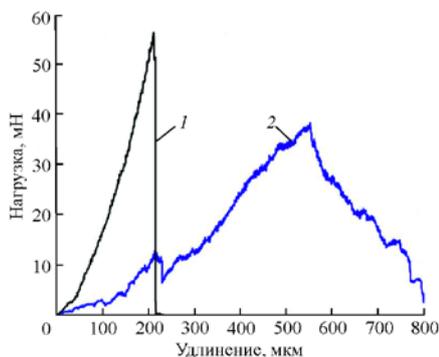
Во время испытаний F. Peters зафиксировал, проиллюстрировал и описал несколько вариантов разрушения волокна. Так, разрушение волокна далеко от зажимов (близко к середине), показанное на рис. 3, а, является наиболее корректным случаем разрыва и определения прочности, что наблюдается, когда оба конца волокна надежно закреплены по центру эпоксидных шариков. Подобный результат получен лишь для 20 % испытанных волокон.

Второй случай (рис. 3, б) относится к разрушению волокон вблизи зажимов. По мнению авторов, это вызвано возникновением концентрации напряжений на поверхности соприкосновения эпоксидного шарика с волокном, что приводит к разрушению волокна именно в этой области. Результаты этих испытаний были использованы для формирования общей выборки, так как разрывные усилия в этих случаях были сопоставимы со значениями, полученными при разрушении волокон далеко от места закрепления в зажимах. Указанное место разрыва наблюдалось примерно у 60 % волокон, участвующих в испытаниях.

Результаты испытаний с явным вытаскиванием волокна из эпоксидных шариков не учитывались. Данный вид разрушения, кроме визуального контроля, отслеживался по характеру кривой «нагрузка–удлинение» (рис. 4). Медленно уменьшающаяся нагрузка свидетельствует о вытаскивании волокна из эпоксидного шарика, а резкое падение нагрузки по достижении определенной степени удлинения – о разрушении самого волокна.

В своей работе F. Peters подтвердил, что прочность и жесткость целлюлозных волокон существенно зависят как от полидисперсности состава, так и от степени воздействия в процессах выделения из древесины. Так, среднее значение прочности длинных, но подвергнутых воздействию отбеливающих реагентов волокон товарной целлюлозы составило 42,7 мН, а небеленых, извлеченных из тарного картона волокон – 63,8 мН. Указанные средние значения хорошо согласуются с диапазоном прочности волокон в работе L. Mott [8].

Рис. 4. Кривые «нагрузка–удлинение», на которых отражено разрушение волокна близко или далеко от эпоксидных шариков (1) и вытаскивание волокна из шарика (2)



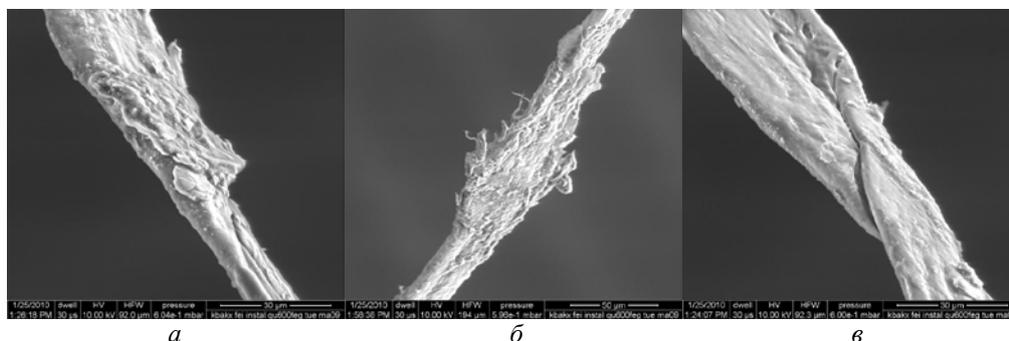


Рис. 5. Дефекты поверхности целлюлозного волокна: *а* – утолщение; *б* – фибриллирование; *в* – перегиб

Деформация разрушения, в свою очередь, имеет большие значения для волокон целлюлозы и в среднем составляет 3,66 %, в то время как для волокон тарного картона варьируется около 1,74 %.

Авторы подчеркивают, что стабильность результатов внутри каждой выборки была недостаточной. Среди возможных причин разброса результатов проанализированы такие, как возможность повреждения волокон при отборе; возникновение локальных напряжений на границе контакта волокна с эпоксидными шариками; структурно-морфологические свойства отдельных волокон, включая дефекты клеточной стенки.

Подробно анализируя все возможные причины нестабильности показателей прочности, авторы отмечают, что главную роль играют индивидуальные особенности геометрии и дефектности каждого отдельного волокна. Это наглядно проиллюстрировано отдельными примерами на рис. 5.

Представленные изображения демонстрируют, что различные участки волокон существенно отличаются по своей структуре: одни проявляют нерегулярную структуру, другие гладкие. Как следствие, площадь поперечного сечения волокон варьируется от 200 до 400 мкм², что может оказывать влияние на их прочность.

Кроме того, наличие на волокнах перегибов вызывает эффект локального увеличения нагрузки на ограниченных участках клеточной стенки. С помощью компьютерного моделирования F. Peters рассчитал, что жесткость участка волокна с перегибом примерно в 3 раза меньше жесткости прямого участка.

Таким образом, работа F. Peters еще раз показала, что практическая и, тем более, технологическая применимость прямых методов определения собственной прочности волокон до настоящего времени не достигнута.

Анализ цитируемых источников показал, что исследования собственной прочности отдельных волокон важны и их результаты могут быть использованы в качестве отправной точки для построения макромеханических моделей поведения целлюлозных материалов. При этом свойства и поведение отдельно взятого сухого волокна отличаются от свойств и поведения волокон в реальном листе бумаги. Следовательно, закономерности, полученные при испытании

отдельных волокон, не могут быть применимы к волокнам, образующим структуру бумажного полотна. Это еще раз подчеркивает, что для методов испытаний недостаточно только теоретической их значимости, а также чрезвычайно важны их прикладной аспект и практическая основа.

С этой точки зрения более предпочтительным является косвенное определение прочности целлюлозных волокон, прежде всего, с помощью испытаний на растяжение при нулевом расстоянии между зажимами. Данная методика существует уже более 75 лет и лишена главных недостатков, присущих прямым способам измерений.

Первые результаты определения нулевой разрывной длины были получены еще в середине 20-х годов прошлого века Р. Hoffman-Jacobsen [6] при изучении различий в прочности волокнистой структуры лабораторных образцов и самих волокон.

Позднее группа исследователей во главе с Van den Akker [10] установила, что при разрыве образцов бумаги большинство волокон разрушается, а не вытаскивается из структуры, в том числе и при низком уровне межволоконных сил связи. На основе полученных результатов была предложена одна из первых моделей, связывающих прочность отдельных волокон и связей между ними в структуре бумажного листа.

Однако D. Clark, являющийся одним из основоположников метода определения «нулевой разрывной длины», подверг указанные данные критике и, в свою очередь, обнаружил [1], что даже после обработки образцов гиаминном (реагент, разрушающий межволоконные связи) при определении нулевой разрывной длины наблюдалось разрушение лишь 10 % от общего количества волокон.

Таким образом, D. Clark не только обобщил результаты определения собственной прочности волокон косвенными методами, полученные другими авторами [6, 10], но и провел собственные исследования, в ходе которых установил основные взаимосвязи нулевой разрывной длины с химическими и физико-механическими характеристиками полуфабрикатов.

Одна из его заслуг – непрерывное усовершенствование конструкции специализированных зажимов к разрывным машинам, гарантированно обеспечивающих «нулевой» зазор и воспроизводимость результатов испытаний отличающихся по свойствам волокон.

К настоящему времени методы косвенного определения собственной прочности волокон реализованы в виде современных высокотехнологичных измерительных установок, позволяющих осуществлять контроль изменения прочности волокон непосредственно в условиях производства, в том числе в режиме автоматизированного отбора проб и их многократного тестирования. По имеющимся данным [1, 6, 10], собственную прочность волокон, измеренную косвенным методом, можно рассматривать в качестве альтернативы таким трудоемким и менее воспроизводимым методам, как определение вязкости и степени делигнификации целлюлозы.

Таким образом, использование показателя нулевой разрывной длины дает возможность оценивать изменение качества волокон во всей технологической цепочке производства бумаги и картона – от процессов получения полуфабрикатов до наката БДМ и КДМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кларк Дж.* Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний) / пер. с англ. А.В. Оболенской, Г.А. Пазухиной. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.
2. *Eder M., Stanzl-Tschegg S., Burgert I.* The fracture of single wood fibers is governed by geometrical constraints: in situ ESEM studies on three fibre types // *Wood Science Technology*. 2008. 42. P. 679–689.
3. *Furukawa I., Saiki H., Harada H.* A micro tensile-testing method for single wood fiber in a scanning electron microscope // *Journal of Electron Microscopy*. 1974. Vol. 23, N 2. P. 89–97.
4. *Groom L., Mott L., Shaler S.* Mechanical properties of individual southern pine fibers. Part I. Determination and variability of stress-strain curves with respect to tree height and juvenility // *Wood and Fiber Science*. 2002. 34 (1). P. 14–27.
5. *Hartler N., Kull G., Stockman L.* Determination of fiber strength through measurement of individual fibers // *Svensk Papperstidning* Vol. 66, N 1. P. 301–311.
6. *Hoffman-Jacobsen P.* New method of determining the strength of chemical pulp // *Paper Trade Journal Technical Section*. 1925. 81 (22). P. 216–217.
7. *Kersavage P.C.* A system for automatically recording the load-elongation characteristics of single wood fibers under controlled relative humidity conditions // *Wood and Fiber*. 1973. Vol. 5, N 2. P. 105–118.
8. *Mott L., Groom L. H., Liang B.-H.* The tensile testing of individual wood fibers using environmental scanning electron microscopy and video image analysis // *TAPPI Journal*. 1995. 78 (5). P. 143–148.
9. *Peters F.* Paper fibers: On the development and application of a tensile testing setup // *Mechanics of Materials*. Eindhoven University of Technology. Department of Mechanical Engineering. Eindhoven, April 7, 2010.
10. *Van den Akker J., Lathrop A., Voelker M.* Importance of fibre strength in paper // *TAPPI Journal*. 1958. N 41 (8). P. 416–425.

Поступила 20.10.11

A.I. Dernov, E.V. Dyakova, A.V. Guryev

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

Cellulose Fiber Strength Assessment. Direct Methods of Testing

An overview of sources on the issue that regularly arises in research practice and actual production, i.e. on the feasibility of monitoring the strength of fibers with the aim to study and predict the structure and physical and mechanical properties of paper.

Keywords: cellulose fiber, direct methods, deformation, breaking length, indirect methods, strength.

УДК 661.432:541.13

И.В. Липин

Институт химии Коми научного центра Уро РАН

Липин Иван Викторович родился в 1986 г., окончил в 2008 г. Санкт-Петербургскую лесотехническую академию им. С. М. Кирова, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории химии растительных полимеров Института химии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Имеет 10 печатных работ в области химии лигноцеллюлозных материалов. E-mail: lipinivan86@gmail.com



КИНЕТИКА ГИПОХЛОРИТНОГО ОКИСЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО ЛИГНИНА

Изучена возможность использования потенциометрического метода для исследования процесса окисления небеленой хвойной сульфатной целлюлозы гипохлоритом натрия.

Ключевые слова: кинетика, лигнин, гипохлорит натрия

Большое практическое значение для всех процессов отбелки целлюлозы имеют вопросы кинетики. Знание кинетических закономерностей дает возможность сознательно управлять факторами, воздействующими на скорость процесса и качество получаемой беленой целлюлозы.

Появление приборов нового поколения, их компьютеризация и современное программное обеспечение позволяют по-новому подойти к исследованию окислительных процессов, в частности отбелки сульфатной целлюлозы, обнаружить новые способы применения потенциометрии в решении исследовательских и прикладных задач.

Потенциометрический метод анализа основан на использовании зависимости электрического сигнала (потенциала) специального датчика (измерительного электрода) от состава анализируемого раствора. В идеальном случае измерительный электрод избирательно (селективно) реагирует на определенный ион (или группу ионов), а его потенциал зависит от содержания этих ионов в растворе и подчиняется уравнению Нернста.

На практике наблюдается некоторое несоблюдение этих положений, выражающееся в мешающем влиянии некоторых ионов (для каждого типа электрода своих), а также в отклонении реальной крутизны электродной функции S от теоретического значения*.

* Туманова Т.А. Физико-химические основы отбелки целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 216 с.

© Липин И.В., 2012

Цель нашей работы – изучение возможности использования потенциометрического метода для исследования окисления небеленой хвойной сульфатной целлюлозы гипохлоритом натрия.

Навеску воздушно сухой целлюлозы массой 0,156 г смачивали водой, размешивали стеклянной палочкой до однородной массы, переносили в толстостенный широкий стакан вместимостью 150 см³, добавляли дистиллированную воду (около 20 см³). Стакан помещали на магнитную мешалку, перемешивали суспензию целлюлозы до полного ее роспуска, добавляли воду до общего объема 100 см³ (точно), устанавливали измерительные электроды и подключали к компьютеру с программой, позволяющей одновременно накапливать с высокой скоростью в виртуальном журнале данные о температуре и окислительно-восстановительном потенциале (ОВП) с интервалом 1 с. Через 1...2 мин перемешивания к суспензии целлюлозы добавляли микропипеткой расчетное количество раствора гипохлорита натрия, что вызывало мгновенное изменение ОВП. В работе использованы современные комбинированные электроды, входящие в комплект к многоканальному прибору «Мультитест ИПЛ-103», позволяющему одновременно измерять до трех параметров.

Поскольку гипохлорит натрия сразу начинает реагировать с остаточным лигнином сульфатной целлюлозы, то скорость его расходования можно оценить по кривой изменения ОВП (рис. 1). Аппроксимация линейного участка уравнением $y = Ax + B$ и анализ тангенса угла наклона (коэффициент B) позволяет оценить скорость реакции расходования окислителей. Численная обработка результатов и графики выполнены в программе Microsoft Excel.

Как видно из рис. 1, на кривой изменения ОВП во времени линейный участок находится в области потенциалов +1030...1060 мВ (относительно хлорсеребряного электрода). С помощью метода наименьших квадратов рассчитаны коэффициенты уравнения линеаризации и погрешности ($A \pm \Delta A$, $-B \cdot 10^2$, $\pm \Delta B \cdot 10^2$), а также $K_{\text{эф}} \cdot 10^2$.

В ходе последующего эксперимента было изучено поглощение гипохлорита натрия небеленой хвойной сульфатной целлюлозой со степенью делигнификации 10,7 ед. каппа при различных значениях рН (2,7; 3,5; 6,3). Условия обработки приведены в табл. 1.

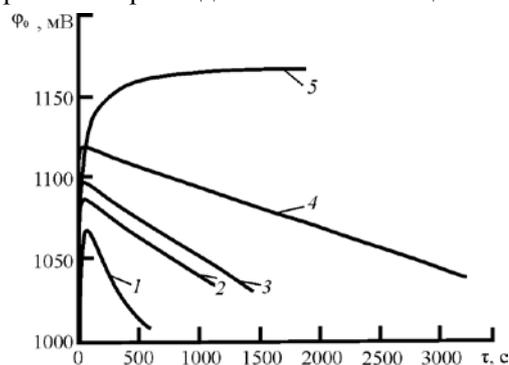


Рис. 1. Общий вид кривой ОВП во времени τ , снятой при обработке суспензии хвойной сульфатной целлюлозы гипохлоритом натрия при температуре 22,0 °С: 1 – 4 – номера опытов, соответствующие табл. 1, 2; 5 – холостой опыт

Таблица 1

Расчет соотношения масс активного Cl₂ и остаточного лигнина (рН 2,7)

№ опыта	Навеска сульфатной целлюлозы (в. с. ц.), г	Масса остаточного лигнина в навеске [L], мг	Объем раствора NaClO, см ³	Масса акт. Cl ₂ в растворе NaClO, мг	Соотношение масс акт. Cl ₂ /[L]
1	0,156	2,40	2,4	2,53	1,1
2	0,156	2,40	3,6	3,79	1,6
3	0,156	2,40	4,2	4,42	1,8
4	0,156	2,40	6,0	6,31	2,6

Таблица 2

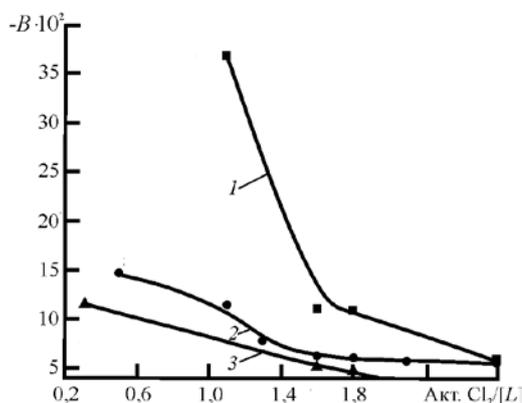
Условия эксперимента и коэффициенты уравнения линеаризации

№ опыта	Соотношение масс акт. Cl ₂ /[L]	Участок линеаризации		A	±ΔA	-B·10 ²	±ΔB·10 ²
		ОВП _н ,	ОВП _к				
		мВ					
1	1,1	1065,16	1030,07	1064,82	0,05	15,92	0,04
2	1,6	1065,00	1030,00	1064,98	0,01	5,05	0,02
3	1,8	1065,00	1030,00	1064,72	0,03	4,73	0,01
4	2,6	1065,00	1039,94	1065,00	0,01	2,52	0,01

Кинетические данные (скорость изменения ОВП при 22,0 °С), которые соответствуют скорости поглощения гипохлорита натрия при различной его дозировке, приведены в табл. 2.

С повышением рН от 3,5 до 6,3 изменяется состав окислителей в гипохлоритной системе, исчезает молекулярный хлор, начинает преобладать хлорноватистая кислота и появляется небольшое количество гипохлорит-ионов. Эти изменения должны найти отражение в кинетических закономерностях изучаемых реакций.

Рис. 2. Влияние соотношения масс акт. Cl₂/[L] на скорость реакции при различном рН: 1 – 2,7; 2 – 3,5; 3 – 6,3



Влияние кислотности среды, а значит, и состава окислителей на скорость их реакции с лигнином сульфатной целлюлозы иллюстрируют кривые, представленные на рис. 2.

При всех соотношениях реагентов по мере повышения pH отмечается снижение скорости реакции активного хлора с остаточным лигнином, т.е. эффективная константа скорости расходования гипохлорита натрия выше в кислой среде (при меньших значениях pH), что объясняется большей реакционной способностью молекулярного хлора по сравнению с другими компонентами (HClO, ClO) гипохлоритного раствора.

Поступила 20.10.11

I.V. Lipin

Institute of Chemistry, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS

Kinetics of Oxidation Residual Lignin by Hypochlorite Sodium

The possibility of using potentiometric method of monitoring the redox reactions of reagents with bleached kraft pulp and chlorine hypochlorite to study the kinetics of the process has been studied.

Keywords: kinetics, lignin, sodium hypochlorite.

УДК 661.183.2

Ю.А. Саврасова, Н.И. Богданович, Н.А. Макаревич, М.Г. Белецкая

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

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



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 340 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@narfu.ru



Макаревич Николай Анатольевич родился в 1942 г., окончил в 1964 г. Пермский государственный педагогический университет, доктор химических наук, профессор кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 300 научных трудов в области теории ассоциированных растворов и теории ассоциативной адсорбции неионных и ионных поверхностно-активных веществ из растворов в различных модельных приближениях.

E-mail: nikma@tut.by

Белецкая Марина Геннадьевна родилась в 1989 г., окончила в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант кафедры лесохимических производств САФУ. Имеет 4 печатные работы в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической переработки с получением адсорбентов.

E-mail: chemistik89@mail.ru



УГЛЕРОДНЫЕ АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Показана возможность и условия синтеза микропористых углеродных адсорбентов из биомассы древесины методом термохимической активации.

Ключевые слова: адсорбент, карбонизация, термохимическая активация, пиролиз, пористая структура, адсорбционные свойства.

Углеродные адсорбенты широко применяются в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. На их основе решаются многие проблемы рекуперации ценных компонентов, а также защиты окружающей

среды и человека от выбросов вредных веществ. Основные направления использования активного угля (АУ) связано с очисткой питьевой и сточных вод, рафинированием сахара, очисткой газов и рекуперацией паров, также АУ применяют при производстве и очистке спиртоводных растворов и вин, каучука, пластмасс, медикаментов, смазочных масел и др. [3].

При получении углеродных адсорбентов методы термохимической активации материалов постепенно вытесняют широко распространенные в недавнем прошлом методы парогазовой активации. Для производства АУ различного качества используют главным образом некарбонизованные исходные материалы, к которым относятся древесные опилки и торф. Превращение такого сырья в АУ происходит под воздействием дегидратирующих агентов при высоких температурах. При этом кислород и водород избирательно и полностью удаляются из углеродсодержащего материала с одновременной его карбонизацией и активацией.

К дегидратирующим агентам может быть отнесен целый ряд веществ, однако наибольшее применение получила ортофосфорная кислота (H_3PO_4). Гидроксид натрия (NaOH) также относится к дегидратирующим агентам, но его использование ограничено из-за высоких расходов на активацию и сложности регенерации из отработанных промывных растворов.

На основании экспериментальных данных можно предположить, что расход NaOH на активацию древесных материалов можно существенно снизить за счет их предварительной карбонизации, что является действенным регулятором не только расхода реагента, но и адсорбционных свойств получаемых АУ. Поэтому было предложено изготавливать АУ в два этапа: карбонизация сырья, в результате которой образуется уголь-сырец, и его дальнейшая активация. В итоге уголь-сырец превращается в уголь, отличающийся развитой пористой структурой и поэтому обладающий огромной внутренней поверхностью [1].

В ходе исследований были реализованы две серии опытов с использованием хвойных опилок в качестве исходного материала для синтеза АУ. Все исследования проводили методом планированного эксперимента. В первой серии опытов была использована 2 %-ая ортофосфорная кислота с целью увеличить выход. Для сравнения была реализована вторая серия опытов без ортофосфорной кислоты при приведенных в табл. 1 условиях.

Таблица 1

Значения и интервалы варьирования факторов

Переменные факторы	Характеристики плана					
	Шаг варьирования λ	Уровни факторов				
		-1,682 ($-\alpha$)	-1	0	1	1,682 ($+\alpha$)
Температура предпиролиза (X_1), °С	40	400	440	500	560	600
Температура пиролиза (X_2), °С	60	600	640	700	760	800
Дозировка NaOH (X_3), у.ед.	20	76,4	90,0	110,0	130,0	143,6

По результатам первой серии были сделаны следующие выводы:

температура предпиролиза должна находиться на уровне 480 °С, температура пиролиза – 700 °С. В этих условиях наблюдаются самые высокие адсорбционные свойства по метиленовому голубому (МГ) и йоду (J₂), т.е. эти значения следует принять за оптимальные;

расход щелочи не оказывает существенного влияния на сорбционные свойства, значит его следует зафиксировать на уровне 100 % по отношению к сырью.

При низких температурах пиролиза (550 °С) с повышением температуры предпиролиза сорбционные свойства АУ снижаются.

На основании выходных параметров второй серии опытов были получены уравнения регрессии со значимыми коэффициентами, являющимися математическими моделями процесса, адекватность которых оценивали по критерию Фишера (F_{расч}):

Выход к а.с.с., %:

$$Y_1 = 18,17 + 1,22x_1x_3;$$

$$F_{расч} = 0,702.$$

Насыпная плотность, г/см³:

$$Y_2 = 0,120 - 0,021x_2 - 0,018x_3 + 0,007x_2x_3 + 0,01x_{12} + 0,005x_{22};$$

$$F_{расч} = 1,374.$$

Сорбция йода, %:

$$Y_3 = 252,42 + 11,53x_2 + 13,36x_3 + 14,15x_1x_3;$$

$$F_{расч} = 0,669.$$

Сорбция МГ, мг/г:

$$Y_4 = 965,20 + 84,95x_2 + 50,69x_3 + 45,37x_1x_2 + 34,82x_1x_3;$$

$$F_{расч} = 0,194.$$

Сорбция гексана, мг/г:

$$Y_5 = 713,20 + 77,59x_2 + 54,68x_3 + 33,76x_1x_2;$$

$$F_{расч} = 0,661.$$

Удельная поверхность, м²/г:

$$Y_6 = 1844,56 + 239,27x_2 + 119,69x_3 + 92,50x_1x_3 + 72,96x_{12};$$

$$F_{расч} = 0,445.$$

Полученные модели оказались адекватными экспериментальным данным, поэтому их использовали для анализа поверхностей отклика и прогнозирования значений выходного параметра в области варьирования переменных (см. рисунок).

Кроме перечисленных выше экспериментов, были проведены исследования зависимости удельной поверхности адсорбентов, синтезированных из лигноцеллюлозных материалов, от дозировки Н₃РО₄. Ортофосфорную кислоту добавляли на стадии предварительной обработки сырья – предпиролиза. По литературным данным ортофосфорная кислота способствует увеличению выхода активного угля за счет снижения выхода жидких продуктов [2].

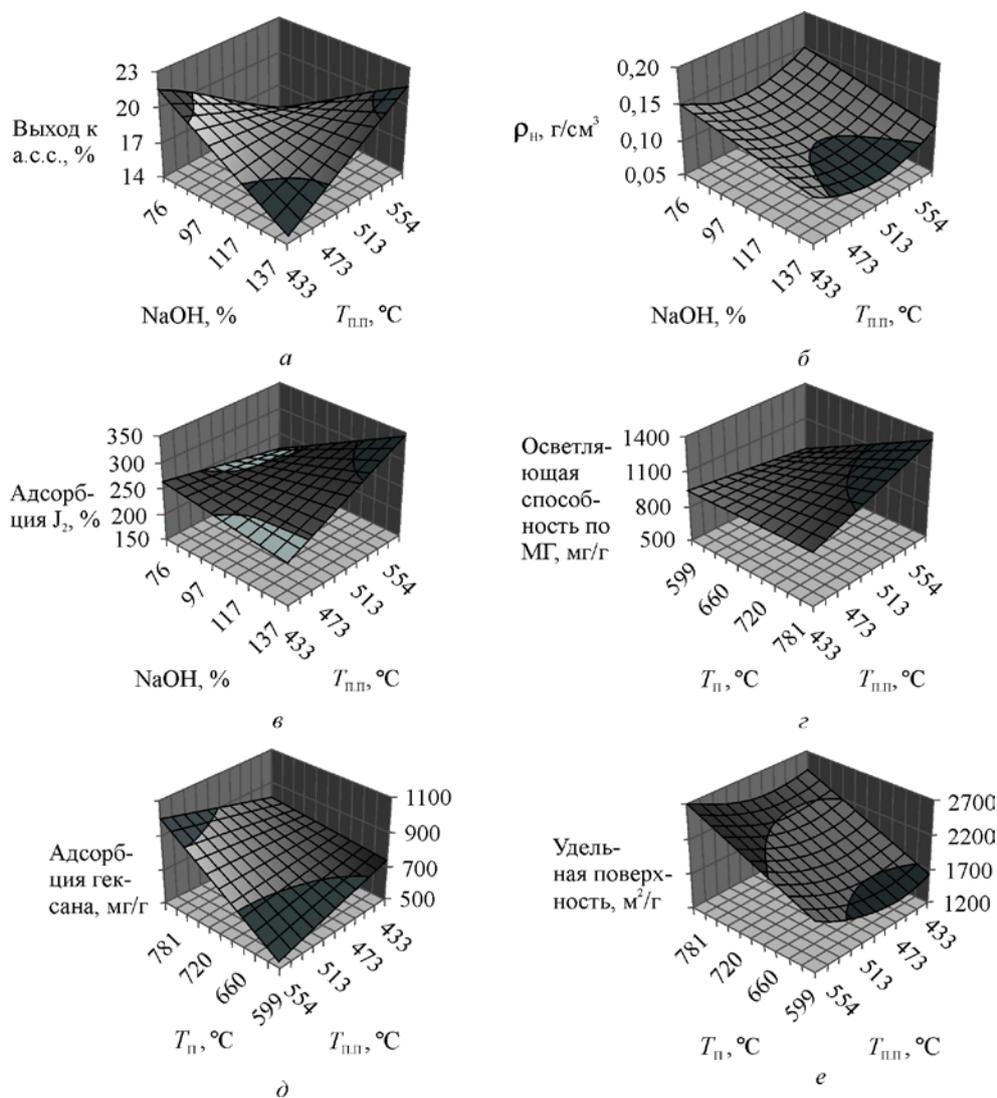


Рис. 1. Поверхности отклика, отражающие влияние входных параметров на выход (а), насыпную плотность (б), сорбцию J_2 (в), МГ (г), гексана (д), удельную поверхность (е)

Методом термохимической активации сульфатной беленой целлюлозы и опилок березы с предварительной обработкой раствором 2...6 %-й H_3PO_4 при температуре 400...450 °C в течение 3...5 ч и последующей химической обработке NaOH в течение 1,5 ч и пиролизе при 600...650 °C получены образцы адсорбентов со смешанной микро- и мезопористой структурой. Синтезирован класс адсорбентов из компонентов древесины, свойства которых выгодно отличаются от свойств активных промышленных углей России.

Таблица 2

Характеристика адсорбентов с различными молекулярными тестами

Концентрация H ₃ PO ₄ , %	$\frac{V_{\Sigma}}{V_{\mu}}$ мм ³ /г	Удельная поверхность адсорбента, м ² /г, определенная по различным тестам			
		N ₂ ($\omega = 0,162 \text{ нм}^2$)	J ₂ ($\omega = 0,303 \text{ нм}^2$)	МГ ($\omega = 0,570 \text{ нм}^2$)	Гексан ($\omega = 0,490 \text{ нм}^2$)
*0	$\frac{1159,1}{645,5}$	2399	1382	769,7	2159,4
*2	$\frac{1174,6}{726,0}$	2444	1469	898,3	1889,8
*4	$\frac{961,6}{570,3}$	2024	1294	582,6	1641,7
**6	$\frac{1141,5}{932,9}$	2556	1348	937,6	...

* Предпирилиз: 400 °С, 3 ч; пирилиз: 600 °С, 1,5 ч.

** Предпирилиз: 450 °С, 5 ч; пирилиз: 650 °С, 1,5 ч.

При температуре жидкого азота на приборе Sorptometer KELVIN 1042 сняты изотермы адсорбции – десорбции N₂ и определены удельные поверхности по БЭТ и Лэнгмюру, суммарный объем V_Σ и объем микропор V_μ (~0,7 от V_Σ). Удельные поверхности адсорбентов по БЭТ составили около 2500 м²/г (с размерами пор преимущественно 1...15 и 80...100 нм) (табл. 2).

Для серии из 15 образцов на целлюлозной основе установлены корреляционные зависимости:

$$V_{\Sigma} = 0,708 S + 402; V_{\mu} = 0,235 S + 125.$$

О том, что синтезированные адсорбенты принадлежат к материалам с наноразмерными свойствами, свидетельствуют результаты оценки фрактальной размерности двумя методами: методом молекулярных тестов и термодинамическим методом. Определена фрактальная размерность d_f по $S_{уд}$ и ω для четырех указанных адсорбатов в интервале масштабов 0,2...0,8 нм: $d_f = 2,16$. Проведено сравнение поверхностной фрактальной размерности полученных углей ($d_f = 2,9$), рассчитанной термодинамическим способом по изотерме адсорбции азота в интервале масштабов от 1 до 20 нм.

Выводы

1. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования дешевого природного органического сырья (в частности, древесных хвойных опилок) для производства углеродных адсорбентов, предназначенных для различных процессов очистки и разделения.

2. Предложен усовершенствованный метод получения порошковых АУ с развитой микро- и мезопористой структурой. Показано, что активные угли из древесного сырья по своим адсорбционным свойствам в несколько раз превосходят промышленные марки углей, производимых по традиционной технологии.

3. Для получения АУ с удельной поверхностью свыше 2000 м²/г осуществлен подбор оптимальных режимов процесса пиролиза опилок, осуществляемого в две стадии: карбонизация и активация.

4. Изучено влияние условий синтеза углеродных адсорбентов из хвойных опилок на формирование их пористой структуры.

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. Калиничева О.А., Орлова Н.В., Богданович Н.И. Предобработка древесных отходов фосфорной кислотой в процессах синтеза углеродных адсорбентов // Наука – северному региону: сб. науч. тр. 2005. Вып. 62. С. 94–97.

3. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1984. 592 с.

Поступила 20.10.11

Y.A. Savrasova, N.I. Bogdanovich, N.A. Makarevich, M.G. Beletskaya

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

Carbon Adsorbents Based on Lignocellulosic Materials

The possibility of and conditions for the synthesis of microporous carbon adsorbents from bio-mass wood by thermochemical activation is shown.

Keywords: adsorbent, carbonation, thermochemical activation, pyrolysis, porous structure, adsorption properties.

УДК [630*812+630*813]: 674.031.185

И.Н. Зубов¹, С.С. Хвиюзов¹, М.А. Лобанова¹, М.А. Гусакова¹, К.Г. Боголицын^{1,2}

¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН,

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Зубов Иван Николаевич родился в 1988 г., окончил в 2010 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет 8 научных трудов в области химии древесины.
E-mail: zubov.ivan@bk.ru



Лобанова Мария Андреевна родилась в 1989 г., окончила в 2011 г. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, аспирант лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет 2 научных труда в области химии древесины.
Тел.: 8 (8182) 28-55-40



Гусакова Мария Аркадьевна родилась в 1966 г., окончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет более 80 научных трудов в области химии древесины.
Тел.: 8 (8182) 28-55-40



ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛИГНОУГЛЕВОДНОЙ МАТРИЦЫ ДРЕВЕСИНЫ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА*

Обоснован выбор биообъекта и определен химический состав можжевельник обыкновенного (*Juniperus communis* L.). Проведена оценка параметра активности пероксидазы хвой можжевельника различных природно-климатических зон Европейского Севера. Выявлен возрастной и зональный характер изменчивости содержания основных компонентов древесины и параметра активности пероксидазы.

Ключевые слова: можжевельник, клеточная стенка, биосинтез, лигноуглеводный комплекс, ферментативная активность, пероксидаза.

* Работа выполнена в рамках проекта УрО РАН 12-М-45-2012 «Влияние абиотических факторов на структуру и свойства надмолекулярных комплексов биополимеров растительной клетки» (Проект в рамках Программы междисциплинарных фундаментальных исследований, выполняемых в нескольких организациях УрО РАН, относящихся к разным объединенным ученым советам УрО РАН).

© Зубов И.Н., Хвиюзов С.С., Лобанова М.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., 2012

С современных позиций лигноуглеводная матрица рассматривается как нанобиоккомпозит полисахаридов (целлюлоза и гемицеллюлозы) и ароматического полифункционального биополимера нерегулярного строения (лигнин), имеющий сложную иерархическую организацию [10].

Молекулярный уровень организации позволяет объяснить свойства отдельного полимера, зависящие от особенностей химического строения. Рассмотрение надмолекулярного уровня затрагивает вопросы взаимодействия компонентов клеточных оболочек. С одной стороны, это вопросы синтеза клеточных оболочек и процессов самоорганизации, управляющих образованием объектов биологического происхождения, а с другой – термодинамической совместимости компонентов растительной ткани.

Доля лигнина в древесине достаточно широко варьирует и составляет 25...30 % для хвойных и 19...23 % для лиственных пород.

Содержание лигнина определяется не только породой, но и другими факторами: климатической зоной произрастания, характером почвы, возрастом дерева. При этом основная масса лигнина сосредоточена в веществе срединной пластинки, примерно 25 % – в клеточной стенке. Лигнины, локализованные в этих двух местоположениях клеточной ткани, значительно различаются по своим химическим и полимерным свойствам.

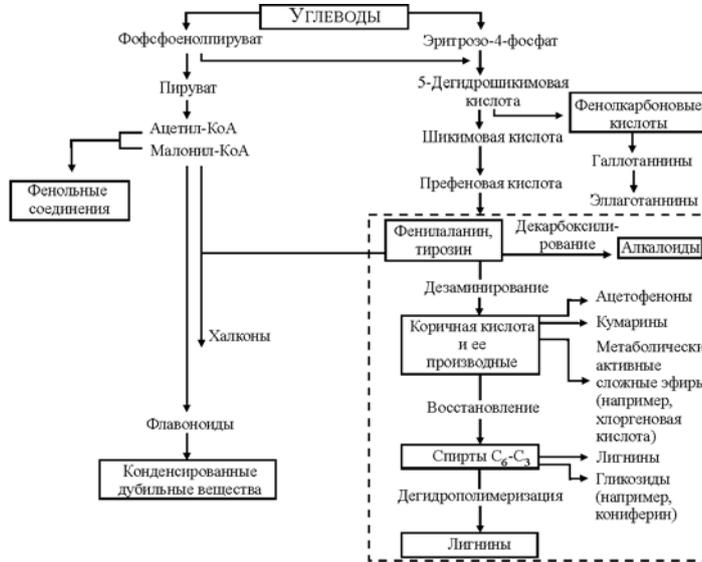
Ключевым моментом при анализе основных аспектов формирования структуры растительной ткани является исследование процессов лигнификации, представляющей собой систему сложных биологических, биохимических и химических процессов. При анализе механизма биосинтеза можно выделить два принципиально различающихся этапа:

синтез первичных мономерных предшественников лигнина – монолигнолов;

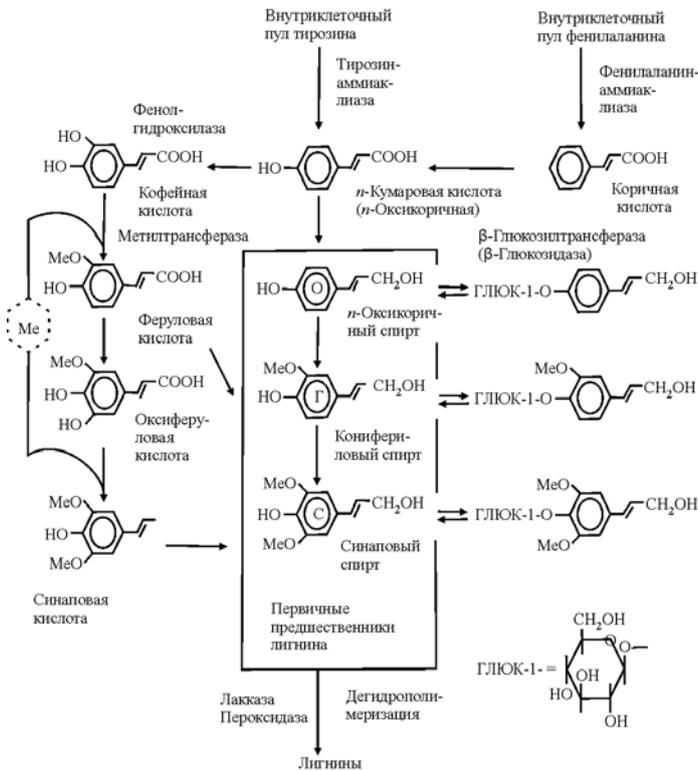
полимеризация монолигнолов, протекающая по радикальному механизму и приводящая к образованию макромолекул и формированию конденсированной фазы лигнина в клеточных оболочках и межклеточном пространстве.

Реализация данного механизма биосинтеза лигнина может быть представлена в виде схем процессов, приведенных на рис. 1.

Таким образом начальные стадии биосинтеза лигнина связывают с образованием глюкозы при фотосинтезе. Последняя превращается в шикимовую кислоту – важнейшее промежуточное соединение на пути образования двух ароматических аминокислот: *L*-фенилаланина и *L*-тирозина, получающихся восстановительным аминированием через префеновую кислоту. В свою очередь, данные аминокислоты служат исходными веществами («аминокислотная совокупность») для ферментативного синтеза фенилпропаноидных соединений (путь коричной кислоты), который приводит через активированные производные коричной кислоты к трем коричневым спиртам, а также к некоторым компонентам экстрактивных веществ (флавоноиды и стильбены). Образование полимерных молекул лигнина из монолигнолов протекает через стадию дегидрогенизационной полимеризации *n*-гидроксикоричных спиртов с появлением резонансно стабилизированных феноксильных радикалов и их сочетание с получением дилигнолов, олиголигнолов и, в конечном итоге, разветвленного полилигнола –



a



б

Рис. 1. Биогенетическая связь растительных фенольных соединений:
a – по [1]; б – по [4]

лигнина. По мнению авторов [4, 7, 9] преимущественная роль в процессах лигнификации отводится пероксидазам, широко распространенным в высших растениях. Пероксидазы растительных клеток способны проникать в пространство между клеточной мембраной и клеточной стенкой и катализировать реакции оксидазного, пероксидазного и оксигеназного окисления субстратов. Этот процесс активно протекает при лигнификации клеточной стенки с образованием дитириозивных связей.

Высказывается предположение, что фермент может участвовать в термации клеточного роста путем формирования поперечных связей [12, 15] и сшивания полисахаридов клеточной стенки через образование диферуловой кислоты, а также модификации полисахаридов в процессах метилирования и ацетилирования. Возможно, ацетилирование полисахаридов и обуславливает связывание с ними пероксидазных ферментов, обеспечивает выполнение ими жизненно важных функций в растительной клетке, связанных с окислением фенольных соединений, формированием клеточной стенки и ее укреплением (рис. 2).

С окончанием клеточного роста связывают интенсификацию стадии лигнификации, которую катализирует пероксидаза. При этом в лигнификации и образовании диферуловой кислоты, по-видимому, принимают участие разные изоформы пероксидазы [13].

Хотя данных, указывающих на изменение активности пероксидаз и образование изоформ под действием факторов среды много, однако они имеют недостаточно систематизированный характер и не позволяют установить четкой зависимости между данным параметром и компонентным составом лигноуглеводной матрицы. Во многом это связано, по нашему мнению, с недостаточно аргументированным выбором объекта исследования.

Для оценки воздействия абиотических факторов на процесс биосинтеза основных компонентов клеточной стенки необходим биообъект, обладающий

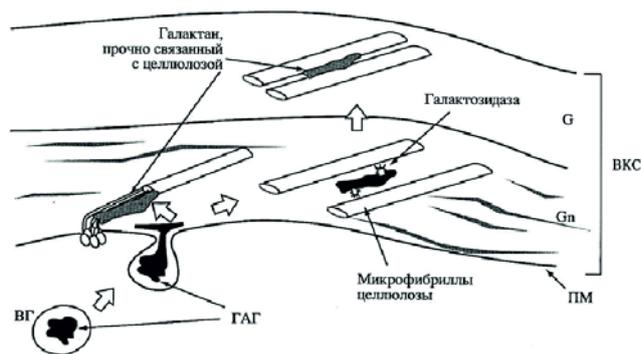


Рис. 2. Схема ключевых процессов, происходящих при формировании надмолекулярной структуры растительной клеточной стенки [4] (ВГ – везикулы Гольджи, ВКС – вторичная клеточная стенка и ее слои (G, Gn); ПМ – плазматическая мембрана, ГАГ – галактан аппарата Гольджи)

обширным географическим ареалом. Одним из наиболее представительных, древних, специфических и малоизученных биообъектов являются вечнозеленые хвойные деревья можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.), произрастающие от 70 до 30°с.ш. [14].

Цель данной работы – изучение влияния абиотических факторов на формирование лигноуглеводной матрицы древесного вещества, а также поиск возможных маркеров данного процесса на примере можжевельника.

Представительные образцы древесины и хвои можжевельника в возрасте от 59 до 140 лет были отобраны на территории Архангельской области, между 67 и 64°с.ш., вне зоны антропогенного и техногенного влияния. Химический состав древесины (содержание целлюлозы, лигнина, веществ экстрагируемых горячей водой и этанолом, золы) определен по методикам [6], возраст древесины – по числу годичных колец на поперечных срезах у корневой шейки стволиков можжевельника. Ширину годичного слоя измеряли при помощи масштабной линейки микроскопа МБС-1 (увеличение окуляра ×8, объектива ×2). Точность измерений ±0,05 мм. Перед измерением цилиндрическую поверхность керны зачищали бритвой, смачивали водой и оттеняли мелом для усиления контраста окраски ранней и поздней древесины.

Для оценки параметра активности пероксидазы хвои использовали методику [11], доработанную и адаптированную для растительного сырья. Методика основана на определении скорости окисления 0,8 мМ гваякола («Sigma») 1,5 мМ пероксидом водорода при температуре 25 °С в среде 0,1 М калий-фосфатного буфера (рН 7,0) при $\lambda = 440$ нм на УФ-спектрофотометре (Shimadzu UV-1800).

Как видно из данных табл. 1, древесина можжевельника отличается от древесины других хвойных пород пониженным содержанием целлюлозы, более свойственным лиственной древесине, что возможно объясняет некоторые физические свойства (высокая плотность и гидрофобность) можжевельника. Содержание лигнина характерно для хвойных пород.

Таблица 1

Содержание основных компонентов для некоторых видов древесины

Вид древесины [3, 5]	Содержание, % к а.с.д.	
	Лигнин Класона	Целлюлоза
Ель	27,0 ... 29,6	46,1 ... 52,4
Сосна	27,4 ... 36,5	51,9
Пихта	29,4 ... 34,5	51,0 ... 52,1
Лиственница	23,1 ... 24,5	39,5...45,8
Береза	19,5 ... 23,8	31,0...45,8
Дуб	22,5	37,1
Можжевельник	<u>21,7 (35,18)</u>	<u>48,3</u>
	28,6 ... 34,2	36,4 ... 47,0

Примечание: В знаменателе приведены экспериментальные данные.

Таблица 2

Характеристика образцов древесины можжевельника обыкновенного

Климатическая зона	Содержание, % к а.с.д.		
	Лигнин	Целлюлоза	Экстрактивные вещества
Тундра	29,2 ... 34,2	36,4 ... 38,6	2,8... 6,4
Северная тайга	29,5 ... 33,5	39,3 ... 47,0	2,8 ... 7,5

Ранее отмечалось, что процесс биосинтеза клеточной стенки, а значит, и количественное соотношение основных компонентов древесины даже одной и той же породы не является строго постоянным и меняется в зависимости от ряда факторов. Температура (неотъемлемая составляющая климата) определяет длину вегетационного периода, влияет на рост дерева в высоту и толщину. Это, в свою очередь, влияет на строение и свойства древесины и ее компонентов (табл. 2).

Продолжительность периода вегетации в совокупности с освещенностью определяет интенсивность процессов не только фотосинтеза, но и образования субстратов основных компонентов древесины. По завершению формирования оболочки клетки в камбиальном слое начинается утолщение клеточной стенки (синтез углеводов) и отложение лигнина, причем формирование последнего идет с запозданием. Таким образом, можно предположить, что длина вегетационного периода в первую очередь определяет ход образования углеводной составляющей древесного вещества.

Как видно из табл. 2, более «мягкие» климатические условия зоны северной тайги позволяют преобладать протеканию биосинтеза целлюлозы, что отражается в ее повышенном содержании (в среднем 43,0 %) по сравнению с образцами зоны тундры (в среднем 37,2 %) при относительном равенстве лигнинной составляющей (соответственно 30,7 и 31,6 %).

Можно предположить, что для лигнинной составляющей древесины можжевельника определяющим фактором является возраст (рис. 3). Как видно из

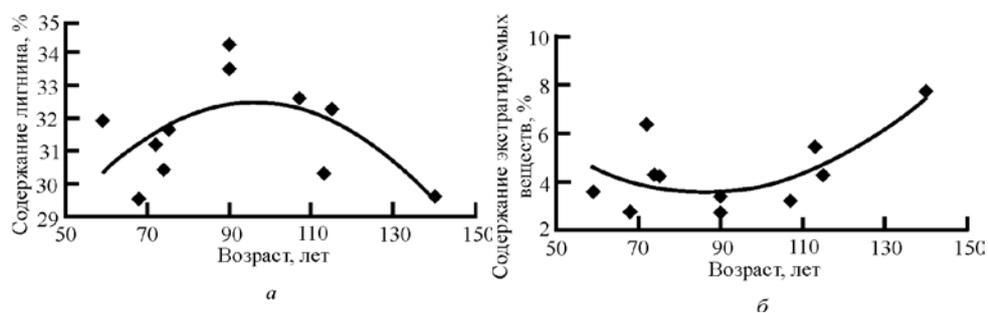


Рис. 3. Возрастная изменчивость содержания некоторых компонентов в древесине можжевельника: *а* – лигнин, *б* – вещества, экстрагируемые этанолом

графиков возрастной изменчивости содержания лигнина и веществ, экстрагируемых этанолом, в процессе роста и развития можжевельных деревьев в условиях Европейского Севера идет активный процесс лигнификации. По достижении возраста 90 ... 110 лет наблюдается снижение общего содержания лигнина, при этом запас экстрактивных веществ в древесине резко повышается. По-видимому, это связано с нарушением окислительно-восстановительного баланса и преобладанием окислительных и дегидрогенизационных процессов, а также с образованием хинонных форм и повышением термодинамической неравномерности в древесной матрице при достижении можжевельником возраста зрелой древесины.

Данную тенденцию подтверждает активность пероксидазы хвои можжевельника (рис. 4). Субстраты пероксидазы являются интермедиатами различных метаболических цепей, что позволяет рассматривать данный фермент как один из ключевых, изменение физико-химических свойств которого существенно влияет на метаболизм растительного организма.

Активирование пероксидазы – характерная ответная реакция растений, обеспечивающая нормальный ход окислительных процессов.

Таким образом, схожий характер возрастной изменчивости содержания лигнина и активности пероксидазы хвои свидетельствует о тесной взаимосвязи растительных пероксидаз различных частей высших растений. Данный параметр может служить маркером процесса биосинтеза лигнина, а также косвенным показателем количественного изменения его содержания в жизненном цикле можжевельника обыкновенного.

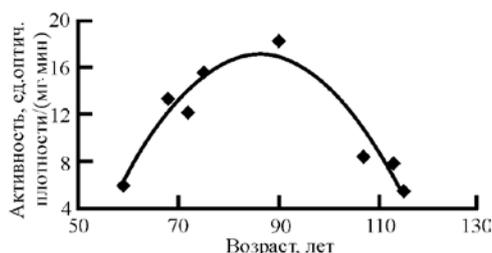


Рис. 4. Возрастная изменчивость активности пероксидазы хвои можжевельника

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блансей А, Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения. М.: Мир, 1977. 297 с.
2. Боголицын К.Г., Резников В.М. Химия сульфитных методов делигнификации. М.: 1994. 420 с.
3. Браунс Ф.Э., Браунс Д.А. Химия лигнина / пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 864 с.
4. Горшкова Т.А. Биогенез растительных волокон. М.: Наука, 2009. 264 с.
5. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.: АН СССР, 1962. 711 с.
6. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.Л. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
7. Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. СПб.: ГИОРД, 2004. 210 с.

8. Сарканен К.В. Лигнины (структура, свойства, реакции) / под ред. К.В. Сарканена, К.Х. Людвиг; пер с англ. под ред. В.М. Никитина. М., 1975. 632 с.
9. Структурно-функциональные особенности изопероксидаз растений / Максимов И.В. [и др.] // Биохимия. 2011. Т. 76, Вып. 6. С. 749–763.
10. Физическая химия лигнина: монография / К.Г. Боголицын [и др.]; под ред. К.Г. Боголицына, В.В. Лунина. М.: Академкнига, 2010. 492 с.
11. Bergmeyer H.U. Methods of Enzymatic Analysis. I Academic Press New York, 2nd Edition, 1974. 495 p.
12. Fry S.C. Formation of isodityrosine by peroxidase isozymes // J. Exp. Bot, 1987. D. 38, N 3 P. 853–859.
13. MacAdam J.N. Peroxidase activity and termination of cell elongation in tall fescue leaf blades // J. Cell. Biochem. 1993. Suppl. 17A. P. 29.
14. Pan-Arctic variation in *Juniperus communis* L.: historical biogeography based on DNA fingerprinting / Adams R.P. [et al] // Biochemical Systematic and Ecology. 2003. Vol. 31, N 2. P. 181–192.
15. Zimmerlin A., Waytaszek P., Boiwell G.P. Synthesis of dehydrogenation polymers of ferulic acid with high specificity by a purified cell-wall peroxidase from french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) // Biochem. J. 1994. Vol. 229, N 3. P. 747–753.

Поступила 20.10.11

I.N. Zubov¹, S.S. Khviyuzov¹, M.A. Lobanova¹, M.A. Gusakova¹, K.G. Bogolitsyn^{1,2}

¹Institute of Ecological Problems of the North Ural Division of the Russian Academy of Science

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

Influence of Abiotic Factors on the Juniper Wood Lignocarbhydrate Matrix Formation

The choice of the biological object has been grounded. Its chemical composition has been determined. The parameters of juniper needles peroxidase activity in different climatic zones of the European North have been evaluated. The age and zonal variability of the wood main components and peroxidase activity parameters have been set.

Keywords: juniper, cell wall, biosynthesis, lignocarbhydrate complex, enzymatic activity, peroxidase.



УДК 65.016.7 + 339.137.27

П.В. Королев

Национальный исследовательский университет «Иркутский государственный технический университет»

Королев Павел Владимирович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Иркутский политехнический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и стандартизации в машиностроении Национального исследовательского университета «Иркутский государственный технический университет», председатель комитета по развитию лесной промышленности и лесного хозяйства при Торгово-промышленной палате Восточной Сибири, член правления Союза лесопромышленников и лесозэкспортеров Иркутской области. Имеет около 40 печатных работ в области повышения эффективности работы предприятий лесопромышленного комплекса и увеличения объемов бюджетных поступлений от их деятельности.

E-mail: tpwood@rambler.ru



ПУТИ ПРЕОДОЛЕНИЯ БАРЬЕРОВ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИХ РАЗВИТИЮ КОНКУРЕНЦИИ В ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Предложен механизм развития конкуренции в лесной отрасли Иркутской области. Проведены анализ и исследования конкурентной среды путем экспертного опроса и анкетирования предприятий. Установлено, что реализация конкурентной политики вызовет появление инноваций, которые дадут старт реальной модернизации производства в лесной отрасли, устроят рост социальной напряженности и обеспечат повышение экономической безопасности Иркутской области.

Ключевые слова: лесная отрасль, конкуренция, инновации, качество жизни населения, коррупция, экономическая безопасность.

Конкуренция является необходимым и определяющим условием нормального функционирования рыночной экономики. Развитие конкуренции в лесной отрасли Иркутской области очень важно для достижения многих целей, в том числе и для появления инноваций. Кроме того, развитие конкуренции позволит потребителям лесопродукции приобретать ее по более низким ценам и более высокого качества, обеспечит равноправное положение участников экономических отношений, выступит как контрольная система эффективности предпринимательства и его соответствия общественным интересам.

И наконец, конкуренция создаст заинтересованность в эффективности использования лесосырьевых ресурсов, снижении издержек на единицу выпускаемой продукции, научно-техническом обновлении производства, развитии инноваций, модернизации предприятий лесной отрасли.

В итоге реализация программы по развитию конкуренции в лесной отрасли Иркутской области позволит улучшить качество жизни населения.

Однако правительство области при презентации проекта программы «Развитие конкуренции в Иркутской области на 2010–2012 годы» в качестве приоритетных выбрало рынки нефтепродуктов, жилищного строительства и коммунального хозяйства, проигнорировав Приложение 1 «Программы развития конкуренции в Российской Федерации и план мероприятий по ее реализации», утвержденное распоряжением Правительства Российской Федерации № 691-р, от 19 мая 2009 г. в котором сказано, что «выбор отраслей обусловлен их значимостью для экономики в целом..., а также остротой текущих проблем, связанных с конкурентной средой».

*Критерии включения лесной отрасли
в приоритетные рынки программ по развитию конкуренции*

Первый критерий – социальная значимость. Лесная отрасль в Иркутской области оказывает самое непосредственное влияние на такие отрасли, как строительство, автомобильный и железнодорожный транспорт, ЖКХ, сельское хозяйство, химическая промышленность и т.д. Удельный вес лесной отрасли достигает 30 % от общего объема*. Однако самая неблагоприятная ситуация с точки зрения развития конкуренции наблюдается именно в лесной отрасли.

Вторым критерием является наличие у исполнительных органов государственной власти Иркутской области соответствующих инструментов управления, переданных в область согласно новому Лесному кодексу, чего не имеют другие отрасли.

*Краткая оценка конкурентной среды
в лесной отрасли Иркутской области*

При нынешних объемах лесозаготовок лесных ресурсов хватит более чем на 50 лет. Пригодные к рубке лесные массивы размещены по территории области крайне неравномерно: в одних местах они сильно истощены, а в транспортно-недоступных местах, на севере области, наблюдается преобладание спелых и перестойных лесонасаждений.

Незаконная рубка лесов и нелегальный оборот заготовленной древесины наносят значительный ущерб экономике Иркутской области, препятствуют конкуренции, приводят к росту криминализации, ухудшают имидж лесной промышленности.

В 2009 г. в Иркутской области было заготовлено 17,3 млн м³ древесины. Освоение расчетной лесосеки в последние годы находится на уровне 37 %*. Отрасль достигла своего предельного уровня по техническому состоянию основ-

* *Королев П.В.* Новая политика Финляндии в лесном секторе и перспективы возрождения лесопромышленного комплекса Иркутской области // Устойчивое лесопользование. 2010. № 1 (23). С. 14–19.

ных средств производства и наличию неразвитой сети лесных дорог. Без реализации на территории Иркутской области приоритетных инвестиционных проектов освоения лесов и федеральной программы по строительству лесных дорог невозможно существенно изменить ситуацию.

В области весьма велика потребность в проведении лесоустройства: 60 % лесхозов устроены более 10 лет назад (см. сноску на с.122). Отсутствие актуальных данных о лесных ресурсах негативно сказывается на управлении лесным хозяйством, в том числе и на привлечении инвестиций, которые ежегодно уменьшаются.

За последние 5 лет заготовка древесины и производство пиломатериалов снизились на 15 %, индекс физического объема промышленного производства за последние два года ежегодно уменьшался на 15...25 % (см. сноску на с. 122).

В Иркутской области экспорт лесной продукции носит ярко выраженный сырьевой характер. На экспорт преимущественно поставляется круглый лес и продукция первичной переработки — пиломатериалы и целлюлоза. Внутренний рынок развит достаточно слабо, в том числе и из-за низкого уровня жизни населения, а заработная плата в лесной отрасли значительно меньше, чем в других отраслях промышленности. Поэтому даже небольшое снижение потребностей в лесопродукции в странах-импортерах будет вызывать у нас жесточайший кризис.

Необходимо отметить, что Китай импортировал в 2009 г. более 95 % круглого леса, 36 % пиломатериалов, 85 % целлюлозы. Такая ситуация называется монополией, она приводит к ценовому диктату: цены на экспортируемые в Китай из Иркутской области лесоматериалы значительно ниже мировых.

При этом руководство области не прогнозирует возможную ситуацию по защите экономической безопасности Иркутской области в случае, если Китай резко уменьшит объем импортируемых лесоматериалов. Тогда может наступить крах лесной отрасли.

Средств, выделенных для осуществления государственного управления лесами, полноценного государственного лесного контроля, тушения лесных пожаров, авиационного мониторинга пожарной опасности, противопожарных, лесозащитных и лесовосстановительных мероприятий в Иркутской области недостаточно, они составляют всего 25 % от потребностей (см. сноску на с. 122).

Кроме того, в лесной отрасли отмечается значительное вмешательство административных органов, вертикально-интегрированных промышленных групп, силовых структур и криминалитета в конкуренцию. В качестве примера можно привести печальный опыт административного вмешательства – это создание лесных терминалов и биржевых складов, отмененных по требованию Федеральной антимонопольной службы и прокуратуры Иркутской области. Другим примером является требование Федеральной таможенной службы по декларированию лесопродукции не ниже определенного объема, независимо от фактически погруженного в вагон. Складывается парадоксальная ситуация: объемы экспор-

та лесоматериалов в Китай по данным таможенных органов России, железной дороги и таможни Китая значительно отличаются.

Таким образом, вмешательство в лесной бизнес административных, силовых и криминальных структур выталкивает из него добросовестных налогоплательщиков, в результате чего происходит дальнейший рост его криминализации.

*Виды конкуренции
в лесной отрасли Иркутской области*

Проведенный автором анализ деятельности предприятий лесной отрасли Иркутской области показал, что в отрасли можно выделить следующие виды конкуренции.

1. Олигополия – доминирование небольшого количество продавцов. На долю крупных предприятий приходится 100 % выпуска древесностружечных плит, фанеры, древесноволокнистых плит, целлюлозы и картона, а также 80 % вывозки древесины и производства пиломатериалов. Этот процесс с каждым годом ускоряется, а введение в действие нового Лесного кодекса полностью выталкивает из сферы лесозаготовок малые предприятия.

2. Монополия – один покупатель и много продавцов. Целлюлозно-бумажные комбинаты принимают хвойную древесину и щепу по ценам, ниже ее себестоимости. ОАО РЖД через свои дочерние предприятия закупает шпалы по ценам ниже себестоимости их изготовления, а поставлять шпалы напрямую на ОАО РЖД лесным предприятиям не дают.

Монополия экспорта – Китай импортирует основную часть лесопродукции Иркутской области, т. е. имеет возможность диктовать и снижать цены на экспортную лесопродукцию.

3. Недобросовестная конкуренция – хорошие отношения некоторых участников рынка с федеральной властью, аффилированность некоторых участников рынка с представителями администрации, правительства области, силовых и криминальных структур, незаконная заготовка и оборот лесоматериалов.

*Барьеры, препятствующие конкуренции
в лесной отрасли Иркутской области*

Опрос и анкетирование, проведенные автором среди предприятий лесной отрасли, входящих в Союз лесопромышленников и лесоэкспортеров Иркутской области, показал, что, кроме административных, действуют еще более двух десятков иных барьеров: невозможность получения банковского кредита лесными предприятиями; рост стоимости дизельного топлива, электроэнергии, железнодорожных тарифов; неразвитость транспортной инфраструктуры – отсутствие лесных дорог круглогодичного действия; отток высококвалифицированных специалистов в другие отрасли; непрестижность работы в лесной отрасли для молодежи; разрушение системы повышения квалификации кадров; отсутствие реальной информации о состоянии отрасли у руководства министерства лесного

комплекса; отсутствие научного сопровождения планов министерства и администрации области при анализе и прогнозировании ситуации в лесной отрасли; отсутствие региональной антикризисной программы по поддержке предприятий лесной отрасли, программ по развитию и созданию производств, выпускающих топливную продукцию из древесины (биотопливо); отсутствие стимулирования увеличения доли энергии, получаемой при переработке древесных отходов и низкокачественной древесины; отсутствие координации региональных программ развития лесопромышленного комплекса в соседних субъектах в соответствии с приоритетами национальной лесной политики; незаинтересованность районных властей в развитии конкуренции из-за неполучения лесного дохода и т.д.

*Механизм развития конкуренции в лесной отрасли.
С чего начать? Шаг первый*

На лесном рынке Иркутской области по сравнению с другими рынками действуют наиболее значительные ограничения конкуренции: монополия, недобросовестная конкуренция, административные и иные барьеры.

Большинство ограничений конкуренции, требующих устранения, обусловлены коррупцией, под которой понимается незаконное использование физическим лицом своего должностного положения в целях получения выгоды вопреки законным интересам общества и государства.

Следовательно, начинать формирование и реализацию конкурентной политики в лесной отрасли области необходимо с противодействия коррупции. Успехи в борьбе с коррупцией будут способствовать развитию конкуренции, что вызовет, в свою очередь, появление инноваций, которые дадут старт реальной модернизации производства.

Для реализации конкурентной политики автором разработаны: «Проект Программы по развитию конкуренции в лесной отрасли Иркутской области на 2010–2012 годы» и «Проект Программы о противодействии коррупции в лесной отрасли Иркутской области на 2010–2012 годы».

*Ожидаемые результаты борьбы с коррупцией
в лесной отрасли Иркутской области*

Для оценки результатов борьбы с коррупцией в лесной отрасли Иркутской области был проведен экспертный опрос специалистов лесных предприятий. Полученная информация позволила оценить наличие или отсутствие известных способов решения проблем борьбы с коррупцией в лесной отрасли, а именно: наличие политической воли федеральных и региональных властей по противодействию коррупции, наличие независимого суда и независимых средств массовой информации, действенный парламентский и общественный контроль за деятельностью федерального и региональных правительств, наличие и реализация Национальной программы развития лесной отрасли России, снижение безработицы и повышение жизненного уровня населения, внедрение известных и проверенных на практике эффективных международных методик по

борьбе с коррупцией, разработка и применение на практике региональных законов по противодействию коррупции в лесной отрасли.

На большинство заданных вопросов были получены отрицательные ответы. В особенно тяжелой ситуации оказался малый и средний бизнес лесной отрасли, так как коррупция связала их по рукам и ногам. Крупные предприятия, принадлежащие вертикально-интегрированным структурам, нерешаемые вопросы, возникающие на областном уровне, решаются на федеральном уровне. Но значимых успехов в борьбе с коррупцией в лесной отрасли добиться так и не удалось. В результате этого социальное напряжение в связке «власть – бизнес – общество» нарастает. Поясним эту ситуацию следующими примерами.

Часть членов профессиональных союзов лесных предприятий, разуверившись в возможности и желании власти решать проблемы лесного бизнеса, призывают обращаться к власти уже не с просьбами, а с требованиями, так как наступает ситуация, когда терять этим предприятиям становится нечего. Профессиональные союзы предприятий могут лишиться значительной части своих членов, если будут продолжать действовать прежними методами в новой ситуации.

Бизнес часто с пренебрежением относится к мнению общества, а если требуется продвинуть непопулярное решение, то идет на союз с властью. Наглядным примером, известным на всю страну, является ситуация с Байкальским ЦБК и строительством Богучанской ГЭС (предполагается затопление значительной территории). Видя такое отношение к себе со стороны бизнеса, общество, в свою очередь, равнодушно относится к проблемам малого и среднего бизнеса и резко отрицательно к олигархическому бизнесу.

В случае, если власти требуется надавить на бизнес, то она, обращаясь за поддержкой к маргинальным слоям общества, одновременно использует против бизнеса силовые структуры и действует по известному завету: проучить так, чтобы ни о каком сопротивлении и думать не смели!

Выводы

1. Существенного развития конкуренции в лесной отрасли Иркутской области в ближайшее время не будет, так как ограничения конкуренции не могут быть устранены из-за тесной связи с коррупцией.
2. Роста доходов регионального бюджета от деятельности предприятий лесной отрасли также не предполагается.
3. Криминализация лесной отрасли будет увеличиваться.
4. Через 3–5 лет возможен дефицит древесного сырья для лесной промышленности области и, как следствие, резкий рост цен на лесопroduкцию на внутреннем рынке.
5. Отсутствие региональной политики развития конкуренции в лесной отрасли ставит под угрозу экономическую безопасность Иркутской области, зависящую от двух важнейших факторов:

внешнего – монополии экспорта лесной продукции в Китай;
внутреннего – роста социального напряжения в связке «власть – бизнес – общество».

Поступила 20.10.2010

P.V. Korolyov

National Research Institute “Irkutsk State Technical University”

**Ways to Overcome the Barriers Obstructing Competition Expansion
in the Forest Sector of Irkutsk Region**

A competition expansion tool for the Irkutsk region forest sector is proposed. Competitive circumstances were investigated by the means of questionnaire and expert judgment. It has been established that implementation of competition policy will cause development of the innovations that will trigger substantial modernization of the Irkutsk region forest sector.

Keywords: forest sector, competition, innovations, life quality, corruption, economic security.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*221.02

Ф.Н. Дружинин

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина

Дружинин Федор Николаевич родился 01.01.1980 г., окончил в 2002 г. Вологодскую государственную молочнохозяйственную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесного хозяйства ВГМХА. Имеет около 40 печатных работ в области селекции растений, освоения вторичных лиственных лесов с целью восстановления еловых формаций, а также по рубкам ухода и заготовке спелой и перестойной древесины.

E-mail: drujinin@mail.ru



**ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНО-ПОСТЕПЕННЫХ РУБОК
В ЛИСТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ**

В ходе исследований установлена лесоводственная эффективность длительно-постепенных рубок. Произведена оценка состояния, повреждаемости и особенностей роста сохраняемой части господствующего лиственного полога, подроста и II яруса ели после первого приема рубок. Обоснованы сроки назначения последующего приема рубки.

Ключевые слова: лиственные насаждения, длительно-постепенные рубки, интенсивность рубки, господствующий и согосподствующий ярус, приросты по высоте, диаметру и запасу.

В таежной зоне Российской Федерации, наряду с одновозрастными, широко распространены разновозрастные древостои и, прежде всего, в насаждениях с наличием темнохвойных пород. Для разновозрастных древостоев характерно наличие деревьев, не достигших возраста спелости и имеющих, как следствие этого, малый диаметр. Освоение таких насаждений сплошнолесосечными рубками приводит к нерациональному использованию древостоя.

Глубокие и всесторонние исследования, выполненные в разновозрастных и сложных по породному составу древостоях, позволили А.В. Побединскому [7] разработать способ, получивший название длительно-постепенных рубок. В рубку назначаются древостои I–IV классов бонитета, имеющие полноту 0,6...0,8 и произрастающие на дренированных почвах с крутизной склона до 20°. Необходимым условием для проведения этих рубок является наличие в насаждении, кроме спелой части древостоя, не менее 400...600 экз./га неспелых деревьев. Они должны иметь полноту не менее 0,3...0,4 и обладать в данных условиях достаточной устойчивостью и жизнеспособностью. Рубки могут выполняться с отпускного диаметра (верховой метод), который назначается при отводе

© Дружинин Ф.Н., 2012

лесосек для каждой породы в отдельности. Его определяют исходя из устанавливаемой интенсивности и необходимого количества оставляемых деревьев.

В условиях Вологодской области длительно-постепенные рубки внедряются со второй половины 80-х годов прошлого столетия. При их проведении, наряду с использованием спелой древесины, успешно решается задача улучшения качественного состава и повышения продуктивности насаждений.

Предварительный подбор объектов для лесоводственной оценки длительно-постепенных рубок осуществлялся по книге учета рубок с последующим натурным обследованием и закладкой пробных площадей. Лесосеки расположены в 150 квартале Кулойского лесничества Верховажского лесхоза Вологодской области. До рубки насаждения были представлены вторичными лиственными, лиственно-хвойными насаждениями, в которых доминирующей породой являлась береза. Древоостой характеризовался довольно высокими таксационными показателями: состав – 4-9Б, 1-3Ос, 1-3Е; производительность древоостоя – I–III класс бонитета, запас – 170...250 м³/га.

На лесосеках оценивали сохранность и состояние древесных пород, особенности роста сохраняемой части господствующего полога и деревьев II яруса, подроста ели после длительно-постепенных рубок. Пробные площади, охватывающие, как минимум, три пасеки в поперечном направлении, закладывали с учетом требований ГОСТ 16128–70, ОСТ 56-69–83 [5] и методических указаний В.Н. Сукачева и С.В. Зонна [8]. Перечет древоостоя производили по породам и диаметрам.

Среднюю высоту элемента леса определяли на основании замера высот у 15...25 деревьев, отбираемых методом пропорционально-ступенчатого представительства. Возраст древоостоя и возрастных поколений деревьев уточняли посредством подсчета годичных колец на пневых срезах и по кернам, которые отбирали возрастным буром от 10...15 деревьев.

Лесовосстановительные процессы под пологом древоостоя на лесосеке изучали с учетом нормативных документов, методических указаний А.В. Побединского [6]. Учет предварительного и сопутствующего возобновления вели на серии учетных площадок (размер 2×5 м или 5×5 м), закладываемых в количестве 20...25 шт. по технологическим коридорам (волокам), в центре пасек и в технологических зонах.

При производстве лесосечных работ в безморозный и бесснежный период повреждаемость не только подроста, но и других компонентов древоостоя возрастает. Наиболее распространены ошмыг кроны, обдир коры, повреждения комлевой части и корневых лап у деревьев, подрыв корневых систем, слом ствола, облом вершин. Эти виды механического воздействия приводят не только к гибели отдельных видов древесной растительности, но и оказывают влияние на последующее после рубок жизненное состояние древесного полога и подроста (табл. 1).

Через 13 лет категория здоровых деревьев господствующего и согосподствующего ярусов снизилась от 93...96 до 75...76 %. По II ярусу это менее выражено из-за лучшего состояния более молодых деревьев.

Таблица 1

Жизненное состояние, %, господствующего (I) и согосподствующего (II), ярусов древостоя

№ пр. пл.	I ярус				II ярус			
	Здоровые	Поврежденные	Усыхающие	Сухостойные	Здоровые	Поврежденные	Усыхающие	Сухостойные
1	<u>93,1</u>	<u>6,3</u>	<u>0,6</u>	—	<u>81,7</u>	<u>12,4</u>	<u>5,9</u>	—
	68,8	14,0	5,4	11,8	78,6	17,2	0,7	3,5
2	<u>96,2</u>	<u>3,6</u>	<u>0,2</u>	—	<u>85,0</u>	<u>9,8</u>	<u>5,2</u>	—
	65,3	15,8	—	18,9	90,3	5,6	1,0	3,1
3	<u>95,4</u>	<u>4,2</u>	<u>0,4</u>	—	<u>76,0</u>	<u>12,2</u>	<u>11,8</u>	—
	75,7	14,4	2,8	7,1	73,3	16,3	1,5	8,9

Примечание. В числителе приведены данные сразу после рубки, в знаменателе – через 13 лет.

В категорию усыхающие и сухостой, прежде всего, вошли особи с повреждением корневых систем. Связано это с тем, что на восстановление только физиологически-активных корневых окончаний диаметром до 1...2 мм затрачивается многократно большее количество элементов питания, чем на формирование стволовой древесины [1, 2, 4].

Таким образом, рубка любой интенсивности ослабляет устойчивость насаждения не только к лесоразрушающим факторам, но и к развитию различных болезней. Ослабление жизненного состояния компонентов древостоя приводит к тому, что 7...19 % сохраненной части господствующего яруса уходит в отпад. Во II ярусе, представленном елью, отпад составляет менее 10 %.

Количество усыхающих особей во II ярусе меньше. При этом часть поврежденных деревьев с изначально высоким жизненным состоянием со временем переходит в категорию здоровых.

На обследуемых объектах длительно-постепенных рубок, выполненных с разной интенсивностью изреживания древесного полога по верховому методу отбора деревьев (табл. 2), средние таксационные показатели снизились. Причем на одной из лесосек (пр. пл. №1), после первого приема рубок, насаждение из лиственно-хвойного переведено в хвойно-лиственное с долевым участием ели в составе древостоя до 6 ед. Наряду со средними диаметрами и высотой, значительно (от 0,70...0,90 до 0,41...0,55) снижена полнота. Интенсивность рубок по запасу составила 34...47 %, а по числу стволов – 30...33 %.

Через 13 лет после рубок в насаждениях произошли существенные изменения таксационных показателей. Средняя высота и диаметр, а также запас древостоя в наибольшей степени увеличились в варианте с интенсивностью рубок 44 %, в такой же пропорции имеет различия и среднегодовой прирост (табл. 3).

Таблица 2

Таксационная характеристика древостоя

№ пр. пл.	Давность рубки, лет	Ярус, состав древостоя	Средние по древостою			Количество, экз./га		Полнота		Бонитет	Запас, м ³ /га	Интенсивность рубки, %	
			возраст, лет	диаметр, см	высота, м	стволов	подраста	м ² /га	отн. ед.			по числу стволов	по запасу
1	0	6Б4Е ед. Ос	70	20,5	19,5	655	1400	18,7	0,74	III	165	30	44
		5Е4Б(И)1Е ед. Б(II)	70	22,5	17,5	1200	240	14,3	0,63		108		
		I – 6Е4Б	70	22,5	17,5	470		11,0	0,41		93		
	13	II – 10Е ед. Б	60	7,6	8,0	730	240	3,3	0,22		15		
		4Е3Б(И)3Е ед. Б(II)	80	24,7	20,0	1150	225	19,8	0,74		161		
		I – 6Е4Б	80	24,7	20,0	425		12,9	0,43		122		
2	0	II – 10Е+Б	70	11,1	10,5	725	225	6,9	0,31	39			
		9Б1Ос ед. Е	70	21,5	25,0	1040	2800	24,5	0,92	225			
		8Б1Е(И)1Е ед. Б(II)	70	15,5	19,0	2350	265	18,4	0,86	137			
	13	I – 9Б1Е	70	15,5	19,0	720		14,1	0,55	120			
		II – 10Е ед. Б	60	5,8	6,0	1630	265	4,3	0,31	17			
		6Б1Е(И)3Е ед. Б(II)	80	16,8	20,0	1910	245	22,3	0,99	176			
3	0	I – 9Б1Е	80	16,8	20,0	625		14,7	0,56	128			
		II – 10Е ед. Б	70	9,3	10,0	1285	245	8,6	0,43	48			
		10Б ед. Е	70	19,6	20,0	695	1800	20,8	0,81	185			
	13	6Б2Е(И)2Е ед. Б(II)	70	16,5	19,5	1375	320	16,2	0,71	123			
		I – 8Б2Е	70	16,5	19,5	465		11,0	0,42	97			
		II – 10Е ед. Б	60	8,6	8,5	910	320	5,2	0,29	26			
13	6Б1Е(И)3Е ед. Б(II)	80	18,1	21,0	1090	305	17,6	0,63	146				
	I – 8Б2Е	80	18,4	21,0	385		11,3	0,35	108				
	II – 10Е ед. Б	70	10,7	10,5	705	305	6,3	0,28	38				

Таблица 3

Характеристика прироста господствующего и согосподствующего ярусов по запасу после рубки разной интенсивности

№ пр. пл.	Интенсивность рубки, %	Прирост за 13 лет			Среднегодовой прирост		
		по высоте, м	по диаметру, см	по запасу, м ³ /га	по высоте, м	по диаметру, см	по запасу, м ³ /га
1	44	<u>2,5</u>	<u>2,2</u>	<u>29,0</u>	<u>0,19</u>	<u>0,17</u>	<u>2,2</u>
		2,5	3,5	24	0,19	0,27	1,8
2	47	<u>1,0</u>	<u>1,3</u>	<u>8,0</u>	<u>0,08</u>	<u>0,10</u>	<u>0,6</u>
		4,0	3,5	31	0,31	0,27	2,4
3	34	<u>1,5</u>	<u>1,9</u>	<u>11,0</u>	<u>0,11</u>	<u>0,15</u>	<u>0,8</u>
		2,0	2,1	12	0,15	0,16	0,9

Примечание: В числителе – лиственный полог, в знаменателе – подпологовая ель.

По сравнению с господствующим лиственным пологом длительно-постепенные рубки оказывают положительное влияние на рост ели согосподствующего полога (II яруса) и подроста. В результате рубки их средние таксационные показатели увеличились. На второй и третьей лесосеках (пр. пл. №2 и №3) после первого приема рубки участие ели II яруса доходит до 3 ед.

За 13 лет с момента проведения лесосечных работ энергия роста ели II яруса и подроста постоянно повышалась. Максимальных значений прироста ель еще не достигла. Наибольшая реакция проявилась в отношении радиального прироста, который значительно увеличился у особей меньших размеров.

Таким образом, длительно-постепенные рубки в сложных по породному составу и высотно-возрастному строению древостоях являются с лесоводственной точки зрения эффективными. Они позволяют восстановить еловые насаждения с использованием естественного лесообразовательного процесса.

Интенсивность первого приема рубок в пределах 40...45 % по запасу является наиболее оптимальной. При такой интенсивности обеспечивается высокая устойчивость насаждения против лесоразрушающих факторов. Энергия роста господствующего полога сохраняется на довольно высоком уровне. Темпы роста деревьев II яруса и подроста ели повышаются, но через 13 лет после рубки не достигают максимальных значений прироста, что дает основание на продление срока назначения второго приема рубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анишин П.А. Изменчивость линейного прироста в разновозрастных ельниках // Лесн. журн. 1972. № 4. С. 20–22. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Воропанов П.В. Особенности строения и роста еловых насаждений в лесах Севера. // Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть. 1930. № 4. С. 51–55.
3. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесоустroительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1971. 23 с.
4. Дерягин В.Т. Динамика прироста ели при длительно-постепенных рубках // Лесн. хоз-во. 1983. № 6. С. 11–14.
5. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки. Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1983. 10 с.
6. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 64 с.
7. Побединский А.В. Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. Архангельск, 1974. 228 с.
8. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.

Поступила 15.03.11

F.N. Druzhinin

Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereschagin

The Estimation of Continuous and Progressive Fellings in Deciduous Plantations

During our research the forestry efficiency of continuous and progressive fellings has been stated. The estimation of the condition, damageability and peculiarities of the growth of the preserved part of the dominating, deciduous cover, the undergrowth and the second spruce layer after the first fellings has been made. The terms of the following fellings method have been grounded.

Keywords: deciduous plantations, continuous and progressive fellings, fellings intensity, a dominating and co-dominating layer, height increment, diameter increment, standing volume increment.

УДК 630* 161.1

В.Г. Гусев, Е.Л. Лопухова, В.К. Дубовый

ФБУ «Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства»

Гусев Виталий Георгиевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. С.-Петербургский политехнический университет, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат технических наук, заведующий лабораторией охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области лесной пирологии и охраны лесов от пожаров.
E-mail: gusev.v.g@mail.ru



Лопухова Елизавета Леонидовна родилась в 1979 г., окончила в 2001 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, младший научный сотрудник лаборатории охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет 5 печатных работ в области лесоведения и лесоводства, лесных пожаров и борьбы с ними.
E-mail: Luiiz-L@yandex.ru



Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор научный сотрудник лаборатории лесоводства ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области химической технологии древесины и лесного хозяйства.
E-mail: Dubovy2004@mail.ru



КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ СВОЙСТВА ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Проанализированы принципы классификации лесных горючих материалов; рассмотрены отечественные и зарубежные их классификации; предложена классификация, позволяющая прогнозировать возможные виды лесных пожаров на охраняемой лесной территории.

Ключевые слова: классификация, лесные горючие материалы, лесная пирология, влаго-содержание, класс пожарной опасности, основные проводники горения, лесной пожар, низовой пожар, верховой пожар, почвенный пожар.

Лесная пирология, как любая наука, не может обойтись без систематизации и классификации изучаемых ею объектов. Под систематизацией понимают разделение и ранжирование всего многообразия объектов по какому-либо признаку и соподчинение их таким образом, чтобы низший ранг относился к высшему, как часть к целому [1].

Основной задачей классифицирования природных объектов является сведение всего их многообразия к минимальному числу типов и учет макси-

© Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К., 2012

мального числа влияющих факторов. Любая классификация – это искусственная модель изучаемого явления, необходимая при использовании современных информационных технологий. При классифицировании любых объектов и явлений, особенно природного происхождения, необходимо выдерживать следующие общеобязательные принципы [1]:

сумма выделенных видов должна быть равна объему классифицируемого родового понятия;

в пределах одной ступени данной классификации, подчиненной одному родовому понятию, должен выдерживаться только один классификационный признак (основание деления);

группы, выделенные по видовым отличиям, должны исключать друг друга, чтобы ни один классифицируемый объект нельзя было отнести к другим группам, т. е. подмножества одного множества не должны содержать общих качеств из числа тех, которые учитываются при классификации.

Пирологическая классификация лесов у нас и за рубежом осуществляется по двум направлениям: классификация видов лесных (растительных) горючих материалов как пирологической основы и классификация лесов как объекта, где формируются однородные комплексы лесных горючих материалов (ЛГМ).

К ЛГМ относят лесные растения (отмершие или живые), а также их остатки различной степени разложения, которые полностью или частично сгорают при лесном пожаре. Они состоят в основном из клетчатки, усредненный химический состав которой $C_6H_9O_4$. Теплота сгорания сухих ЛГМ обычно варьирует в пределах 17...21 МДж/кг.

По отношению к увлажнению и высыханию ЛГМ делятся на две большие категории: гигроскопичные и негигроскопичные.

К гигроскопичным относят отмершие ЛГМ (сухостой, усохшие травы, опад, пни, порубочные остатки, валежник, подстилка), а также несосудистые растения с отсутствующей (лишайники) или плохо развитой (мхи) корневой системой. Их влагосодержание постоянно меняется в зависимости от гидрометеорологических условий. Максимальное влагосодержание гигроскопичных ЛГМ зависит от их пористости и может изменяться от 100 (древесина) до 3000 % (сфагнум) [7].

Негигроскопичные ЛГМ представляют собой живые сосудистые растения (деревья, самосев, подрост, подлесок, кустарники, кустарнички, травы), способные за счет хорошо развитой корневой системы поддерживать в своих тканях определенный уровень влагосодержания. В слое лесного напочвенного покрова из негигроскопичных ЛГМ обычно преобладают кустарнички и травы. Кустарнички имеют одревесневшие стебли, содержат смолы и эфирные масла. Они поддерживают свое влагосодержание на уровне 80...150 %. Сгорая в пламени лесного пожара, они усиливают горение и поддерживают его распространение [4, 5]. Особенно пожароопасны густые заросли вереска и багульника.

Вегетирующие травы отличаются высоким влагосодержанием, которое обычно превышает 200 %, а весной, в начале вегетации, может достигать 700 % [8], поэтому все виды вегетирующих трав препятствуют горению.

При верховых пожарах могут сгорать живые хвоя и листва в пологе древо-стоя вместе с несущими побегами толщиной до 7 мм и сухие сучья. Влагосодержание хвои в кронах в пожароопасный сезон обычно колеблется от 90 до 130 %, но ее хорошая горимость обеспечивается за счет сравнительно высокого содержания в ней эфирных масел.

Существуют следующие подходы к классификации ЛГМ:

по возможности и скорости их высыхания, используется в Национальной системе оценки пожарной опасности лесов США NFDRS (National Fire Danger Rating System) [12];

по местоположению, которое занимают в фитоценозе (Франция) [13];

по их происхождению (генетическая классификация, предложенная М.А. Шешуковым [9];

по функции ЛГМ при распространении и развитии пожара, с учетом их физических свойств и местоположения в фитоценозе [4].

Классификация ЛГМ может быть на трех уровнях:

а) классификация элементарных частей комплексов ЛГМ, включая отдельные растения из напочвенного покрова, подроста, кустарников, опад и древесные остатки на почве, морфологические части деревьев и т.п., которая не затрагивает мелкие частицы, рассматриваемые в совокупности в виде слоев (подстилка, торф и др.);

б) классификация слоев ЛГМ внутри лесных участков;

в) классификация однородных лесных участков как сложных комплексов ЛГМ.

Для сравнения рассмотрим зарубежные классификации ЛГМ. В Национальной системе оценки пожарной опасности США ЛГМ делятся на две категории [12]: отмершие (*dead fuel*) и живые (*live fuel*). Живые растения обычно способны поддерживать свое высокое влагосодержание, в то время как влагосодержание отмерших ЛГМ зависит от процессов их увлажнения и высыхания под влиянием погодных условий. Такое деление справедливо для основной части территории США, где в лесах практически отсутствует мохово-лишайниковый покров. Лишайники и мхи (за исключением политрихума) не способны активно поддерживать свое влагосодержание. Они высыхают и увлажняются подобно мертвым ЛГМ. В бореальной зоне России мохово-лишайниковые напочвенные покровы распространены очень широко, и поэтому американское деление можно принять только при условии, что эти покровы будут рассматриваться аналогично отмершим ЛГМ. Последние в зависимости от временного лага (*time lag*) разделены на четыре класса: легкое, среднее, тяжелое и очень тяжелое горючее. Под временным лагом понимают период времени, в течение которого происходит потеря двух третей (63 %) того количества воды, которое может испариться

из данного образца ЛГМ при стандартных атмосферных условиях, т. е. $2/3 (M - M_p)$, где M – влагосодержание ЛГМ в данный момент; M_p – равновесное влагосодержание ЛГМ для стандартных условий.

В NFDRS стандартными условиями воздушной среды являются: температура воздуха 26,5 °С и относительная влажность воздуха 20 %. Следует заметить, что временной лаг – величина, постоянная для данного образца ЛГМ, и не зависит от его влагосодержания. Это объясняется тем, что скорость сушки прямо пропорциональна разности $M - M_p$. В процессе высыхания эта разность уменьшается и, следовательно, снижается скорость высыхания.

К первому классу (*1-hour time lag fuel*) относятся ЛГМ со средним временным лагом 1 ч (0...2 ч). Обычно это усохшие травянистые растения и сухие растительные частицы диаметром до 6 мм (опад хвои и тонких веточек). Ко второму классу (*10-hour time lag fuel*) относятся ЛГМ со средним временным лагом 10 ч (2...20 ч). Обычно это опавшие сучья диаметром от 6 до 25 мм. Третий класс (*100-hour time lag fuel*) имеет средний временной лаг 100 ч (20...200 ч). Обычно это валеж или порубочные остатки диаметром от 26 до 75 мм. Четвертый класс (*1000-hour time lag fuel*) имеет средний временной лаг 1000 ч (200...2000 ч) и соответствует валежу диаметром от 76 до 200 мм.

Живые ЛГМ (*life fuel*) делятся на два класса: 1) травы и травянистые растения; 2) хвоя, листва и ветки диаметром менее 6 мм в кронах древостоя. Согласно данным обследования горельников диаметр 6 мм – это верхний предел диаметра живых древесных материалов, которые полностью сгорают при лесном пожаре.

Усохшие травянистые растения и вегетирующие травы, образующие единый напочвенный покров, выделены в особый класс ЛГМ – «тонкое горючее» (*fine fuel*). Именно этот класс является основным проводником горения в американских топливных моделях.

Для оценки соотношения вегетирующей и отмершей растительности в системе NFDRS используются еженедельные спутниковые данные об относительном уровне зелености (*greenness*) растительной поверхности. Этот показатель – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – рассчитывается по данным, получаемым со спутников серии NOAA в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Индекс NDVI напрямую связан с количеством и влагосодержанием живой растительности.

В NFDRS классифицируются по временному лагу также и слои напочвенного покрова. К 1 классу (горючее с 1-часовым лагом) относится верхний слой опада толщиной до 6 мм; ко 2 классу (горючее с 10-часовым лагом) – слой опада (подстилки) на глубине от 6 до 25 мм; к 3 классу (горючее с 100-часовым лагом) – слой подстилки, расположенный на глубине от 25 до 100 мм; к 4 классу (горючее с 1000-часовым лагом) – слои подстилки, торфа, перегноя, расположенные на глубине от 100 до 300 мм.

В работе [6] справедливо отмечается, что скорость высыхания слоев опада и подстилки (торфа) определяется не только глубиной их расположения, но и режимом их почвенного увлажнения (дренированностью участка) и степенью рыхлости слоя. Поэтому приведенная выше классификация весьма условна.

В Канаде для оценки и прогнозирования лесопожарной обстановки используется система CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System). Она состоит из четырех подсистем: подсистема индексной оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды FWI; подсистема прогноза поведения лесного пожара FBP; подсистема Assessor Fuel Moisture System, позволяющая оценивать влагосодержание лесных горючих материалов, отличных от «стандартного» типа; подсистема для прогнозирования возникновения пожаров от молний и по вине человека. Последняя подсистема еще разрабатывается.

В канадской классификации ЛГМ делят на три большие группы: почвенные (*ground fuels*), включающие гумус, торф, корни; напочвенные (*surface fuels*), включающие опад листвы и хвои, травы, мелкие кустарники, крупный валеж; кроновое горючее (*crown fuels*), куда входят ветки с хвоей и листвой и отмершие сучья.

Для оценки пожарной опасности и прогнозирования поведения лесного пожара выделено 16 типовых лесорастительных комплексов (*fuel type*), представляющих собой категории участков, относящихся к лесной площади, покрытой (хвойные леса – семь типов, лиственные – один, смешанные – четыре) или не покрытой лесом (вырубки – три типа), а также к нелесной площади (луга – один тип). В качестве эталона для оценки пожарной опасности по условиям погоды выбран сосняк зеленомошный на дренированных почвах, в котором напочвенный покров разделен на три слоя, примерно однородных по влагосодержанию: 1) верхний слой зеленого мха толщиной 1,2 см с включенным в него опадом, 2) нижний слой мха толщиной 2...4 см, 3) слой подстилки толщиной 3...5 см. Канадский эталон сходен с тем, который был использован при разработке российских показателей влажности ПВ-1 и ПВ-2.

Выделенные типовые комплексы ЛГМ далеко не исчерпывают все разнообразие лесов и нелесных площадей Канады. Более того, выбор некоторых типов, вероятно, определялся имеющимся фактическим материалом о поведении пожаров. Строго говоря, использовать подсистему FWI можно лишь на территориях, где лесная растительность соответствует типовым комплексам ЛГМ, для которых разработаны топливные модели.

Основоположником отечественной классификации, которая отражает выполняемые ЛГМ функции при пожаре, является Н.П. Курбатский [4]. Он разделил все ЛГМ на три категории: проводники горения; поддерживающие горение; задерживающие горение. При этом необходимо помнить, что горение распространяется только тогда, когда влагосодержание ЛГМ находится в необходимом

для этого диапазоне. В противном случае проводник горения может стать задерживающим горение.

Кроме того, Н.П. Курбатский выделил семь групп ЛГМ:

I – слои из мхов, лишайников и мелких растительных остатков (опад, травяная ветошь);

II – подстилка, перегнойный и торфяной горизонты почвы;

III – травы и кустарнички;

IV – крупные древесные остатки (валежник, сухостой, сучья, пни, порубочные остатки);

V – подрост, кустарники;

VI – хвоя и листва растущих деревьев (вместе с мелкими веточками до 7 мм);

VII – стволы растущих деревьев и живые сучья толще 7 мм.

ЛГМ каждой группы в различных биогеоценозах могут существенно различаться по своим пирологическим свойствам. Поэтому требуется дальнейшая классификация внутри групп на однотипные комплексы ЛГМ [6].

Классификацию ЛГМ внутри I группы предложил Э.В. Конев [3]. Он разделил их по виду горючего на отмерший травостой, опавшую хвою, опавшую листву, лишайники и некоторые мхи.

А.П. Яковлевым [10] в сосняках и лиственничниках Юго-Западной Якутии выделено шесть типов напочвенных горючих материалов: лишайниковый, мертвопокровно-толокнянковый, хвоевый, моховой, травяной и сфагновый. Оценена скорость их пожарного созревания и дано распределение по типам леса.

Существует классификация по очередности загорания ЛГМ и их приуроченности к типам леса и растительным ассоциациям [2], которая включает 10 пирологических типов мохово-лишайникового и мертвого покрова с указанием полноты насаждения и величины лесопожарного показателя засухи, при котором каждая категория достигает состояния готовности к горению – «пожарной зрелости». К шкале прилагаются лесопирологические условия (укрупненные группы составов древесных пород, возраст, захламленность, наличие густого хвойного подраста, условия местопроизрастания, экспозиция и крутизна склона), при которых вероятно гибель или сильное повреждение древостоя в результате пожара. В настоящее время это наиболее полная из существующих отечественных классификаций для ЛГМ первой группы (по классификации Н.П. Курбатского).

М.А. Софронов, А.В. Волокитина [7] вместо показателя засухи предложили указывать класс засухи. Их характеристика территории по возможным видам, силе и последствиям пожаров дополняет оценку природной пожарной опасности лесов.

«Генетическую» классификацию ЛГМ для лесов Дальнего Востока с учетом плотности их сложения предложил М.А. Шешуков [9].

В этой классификации ЛГМ образуют исходную подсистему, непрерывно изменяющуюся по своему количественному и качественному состоянию, а лес-

ные пожары – производную подсистему. Вероятность возникновения лесных пожаров обусловлена как природными, так и антропогенными факторами. Рассматриваемая классификация – четырехступенчатая. По происхождению и с учетом последующей трансформации все ЛГМ в ней подразделяют на два класса: исходные (первичные) и трансформированные (вторичные). Для Дальнего Востока М.А. Шешуков выделил 8 типов ЛГМ:

- хвоевой (опад хвои и подстилка);
- листопадный (опад листвы с подстилкой);
- травяной (опад травы с подстилкой или дерниной);
- лишайниковый (лишайники с подстилкой);
- зеленомошный (зеленые мхи с подстилкой);
- сфагновый (сфагнум с очесом торфа);
- багульниковый (багульник с подстилкой);
- бамбуковый (бамбук с подстилкой).

Выделенные типы ЛГМ очень неоднородны по пирологическим свойствам. Например, рыхлый опад длиннохвойных пород (кедр, сосна) и плотный опад короткохвойных пород (ель, лиственница) высыхают и горят совершенно по разному, хотя и относятся к одному хвоевому типу. Такие же различия у рыхлого опада листьев дуба и плотного опада листьев осины в листопадном типе ЛГМ. Большие различия имеются между мелкотравным и крупнотравным напочвенным покровом. Сильно различаются по пожарной опасности участки леса с зеленомошным покровом на дренированных и слабо дренированных почвах. Багульник обычно не является проводником горения, он только усиливает горение находящегося под ним непрерывного слоя ЛГМ (мхи, лишайники или опад).

Указанные недостатки были отмечены и устранены А.В. Волокитиной и М.А. Софроновым [6]. Разделение ЛГМ на группы по их классификации такое же, как и у Н.П. Курбатского. В первую группу ими выделены основные проводники горения (ОПГ) – это непрерывный слой растительного горючего материала на поверхности почвы, состоящий из гигроскопичных ЛГМ (мелкие растительные остатки, мхи, лишайники и др.), по которому может самостоятельно распространяться пламенное горение. В качестве главного классификационного критерия при разделении подгруппы на типы они предложили время наступления пожарного созревания, связанное с определенным лесопожарным показателем засухи. Эта классификация ЛГМ не связана с общепринятой классификацией лесных пожаров и не позволяет сразу оценить возможность загорания лесного участка при появлении источников огня, что уменьшает ее востребованность специалистами в области охраны лесов от пожаров и затрудняет практическое применение в ГИС.

Различия в подходах и формах представления классификаций свидетельствуют о том, что к настоящему времени в лесной пирологии нет общепринятой классификации ЛГМ, что препятствует унификации нормативно-справочного материала и возможности применения данных лесоустройства, а также затруд-

няет формализацию исходных данных, необходимую при использовании современных информационных технологий.

Для решения задач прогнозирования поведения лесных пожаров классификация ЛГМ должна быть привязана к общепринятой классификации лесных пожаров и единой шкале пожарной опасности по условиям погоды или к местной шкале.

Наиболее логично классифицировать ЛГМ в соответствии с общепринятой классификацией лесных пожаров, т. е. по месту нахождения конкретного горючего материала в многоярусном растительном покрове лесов и его роли в процессе распространения горения (табл. 1). Поскольку лесные пожары делятся на три основных вида (почвенные, низовые, верховые), различающиеся по участию в горении различных ярусов ЛГМ, то логично при классификации ЛГМ выделить именно те их группы, которые обеспечивают эти виды пожаров. При оценке роли различных ЛГМ в распространении горения можно придерживаться категорий Н.П. Курбатского[4].

Таблица 1

Рекомендуемая классификация ЛГМ при прогнозировании поведения пожаров в зоне бореальных лесов

Группа ЛГМ	Категория ЛГМ		
	Проводники горения	Поддерживающие горение	Задерживающие горение
Почвенные	Подстилка, перегной, торф, дернина Мхи, лишайники, мелкий сплошной опад (не толще 2 см), травяная ветوشь, вереск (при сильном ветре)	Корни сухостоя	Живые корни древостоя
Напочвенные		Некоторые виды кустарничков (багульник болотный, вереск (при сильном ветре), брусника, голубика и др.), самосев, подрост и подлесок хвойных пород (высотой до 3 м), горючие кустарники, валежник, сухостой в комлевой части, пни, порубочные остатки	Вегетирующие травы, листва подроста, некоторые кустарнички (например, толокнянка)
Кроновые	Хвоя и несущие побеги (толщина 7 мм) в кронах древостоя, подроста и подлеска (высотой более 3 м)	Сухостой, стволы (особенно засмоленные и дуплистые), толстые сучья и сухие ветви растущих деревьев	Листва древесных пород

При наличии источника огня проводники горения каждой выделенной группы ЛГМ обеспечивают распространение соответствующего вида лесного пожара, но при определенных ограничениях по их влагосодержанию и запасу.

Предельное влагосодержание, при котором прекращается распространение низового пожара, зависит в основном от среднего поверхностно-объемного отношения частиц, составляющих проводник горения [11]:

$$M_x = 0,75 - 0,051 \ln \sigma,$$

где M_x – предельное влагосодержание проводника горения (при значениях больше M_x горение прекращается), фунт воды /фунт сухих ЛГМ;
 σ – отношение площади поверхности проводника горения к его объему, 1/фут.

При низовых пожарах влагосодержание ОПГ находится в пределах 6...45%. Для устойчивого распространения низового пожара запас ОПГ в слое лесного напочвенного покрова должен быть не менее 0,2 кг/м².

Влагосодержание проводника горения в пологе при верховых пожарах варьирует от 70 до 130 %. Устойчивое распространение верхового пожара происходит при объемной плотности проводника горения в пологе древостоя не менее 0,1 кг/м³. При скорости ветра в пологе 2...4 м/с возможно распространение по кронам беглого (вершинного) верхового пожара, без поддержки низового огня. Переход низового пожара в верховой возможен при высоте пламени кромки горения, достигающей нижней границы полога древостоя.

Предельное влагосодержание проводников горения при устойчивом почвенном (подстилочном, торфяном, перегнойно-торфяном, дерновом) пожаре может изменяться от 100 до 200 %.

Обычно о почвенных пожарах говорят при толщине подстилки более 5 см (если толщина подстилки более 15 см, ее уже считают слоем торфа). Согласно Н.П. Курбатскому [7], под подстилкой понимается верхний горизонт почвы (A_0), состоящий из отмерших частей растений с различной степенью разложения и потери естественной структуры. Подстилка обычно не очень четко выражена в мертвопокровных и лишайниковых типах леса. На избыточно увлажненных почвах, покрытых мхом, подстилка выражена хорошо, толщина ее значительно больше.

Разработанная классификация (табл. 1) при наличии информации о лесных горючих материалах позволяет прогнозировать возможные виды лесных пожаров на охраняемой лесной территории.

Чтобы можно было оценить пожарную зрелость лесного участка, т. е. возможен или не возможен будет на нем низовой пожар в случае появления там источника огня, напочвенные проводники горения разбиваются на пять классов пожарной опасности в зависимости от погодных условий (табл. 2). Влияние периода пожароопасного сезона, влажности почв и полноты насаждений учтено на основе данных работы [2].

Таблица 2

**Шкала пожарной опасности напочвенных проводников горения
на лесопокрытой площади лесов бореальной зоны**

Класс пожарной опасности напочвенных проводников горения	Типы напочвенных проводников горения с учетом периода пожароопасного сезона, влажности почв и полноты насаждений	Критический класс пожарной опасности по условиям погоды и значения показателей КП, ПВ-1, ПВ-2
I	<p>Гипновые мхи и сфагнумы на заболоченных почвах. Сфагнумы в высокополнотных насаждениях. Политрихумы в средне- и высокополнотных насаждениях. Травяная ветошь в смеси с живой травой (летом).</p>	<p align="center">V</p> <p>КП = 12001...24000 ПВ-1= 1601...3000 ПВ-2= 6001...8000</p>
II	<p>Плотный опад в высокополнотных насаждениях. Травяная ветошь из крупнотравья в высокополнотных насаждениях (весной). Политрихумы в низкополнотных насаждениях. Сфагнумы в низко- и среднеполнотных насаждениях.</p>	<p align="center">IV</p> <p>КП = 4001...12000 ПВ-1= 851...1600 ПВ-2= 3501...6000</p>
III	<p>Плотный опад в среднеполнотных насаждениях. Зеленые мхи на дренированных почвах в среднеполнотных насаждениях. Травяная ветошь из крупнотравья в среднеполнотных насаждениях (весной). Травяная ветошь злаков и осок в высокополнотных (весной) и в низкополнотных (летом) насаждениях. Блестящие и зеленые мхи на дренированных почвах в высокополнотных насаждениях.</p>	<p align="center">III</p> <p>КП = 1001...4000 ПВ-1=501...850 ПВ-2= 2101...3500</p>
IV	<p>Лишайники (возможно с примесью зеленых мхов), верещатники на сухих почвах в средне- и высокополнотных насаждениях. Блестящие и зелёные мхи на дренированных почвах в средне- и низкополнотных насаждениях. Зеленые мхи на слабодренированных почвах в низкополнотных насаждениях. Травяная ветошь злаков и осок в средне- и низкополнотных насаждениях (весной). Травяная ветошь из разнотравья и крупнотравья в низкополнотных насаждениях (весной).</p>	<p align="center">II</p> <p>КП = 301...1000 ПВ-1= 201...500 ПВ-2= 1201...2100</p>

Окончание табл. 2

Класс пожарной опасности напочвенных проводников горения	Типы напочвенных проводников горения с учетом периода пожароопасного сезона, влажности почв и полноты насаждений	Критический класс пожарной опасности по условиям погоды и значения показателей КП, ПВ-1, ПВ-2
V	Лишайники (возможно с примесью зеленых мхов) в низкополнотных насаждениях. Травяная ветошь разнотравья с опадом листвы в низкополнотных насаждения и редианах (весной).	I КП= 0...300 ПВ-1= 0...200 ПВ-2= 1000...1200

Напочвенные проводники горения разбиты на классы таким образом, чтобы в пределах класса находились ЛГМ, начинающие гореть с определенного класса пожарной опасности по условиям погоды единой шкалы. Аналогичная разбивка на классы может быть сделана и для местной шкалы.

Используя выбранную нумерацию классов можно легко формализовать условия пожарной зрелости напочвенных проводников горения. Созревшие для горения напочвенные проводники соответствуют сумме классов очередности загорания и пожарной опасности по условиям погоды от 6 до 10. При сумме классов от 2 до 5 напочвенные проводники не горят.

Шкала очередности загорания (табл. 2) позволяет по значениям комплексного показателя (КП) Гидрометцентра или показателя ПВ-1 судить о возможности возникновения там низового пожара при появлении источника огня.

Переход низового пожара в почвенный происходит при высоких классах пожарной опасности по условиям погоды, когда напочвенный покров является сфагновым или долгомошно-сфагновым. Возможность возникновения почвенного пожара оценивается показателем ПВ-2.

Верховой пожар наиболее вероятен в высокополнотных (полнота 0,7...1,0) хвойных молодняках высотой до 10 м или в хвойных насаждениях высотой 10...20 м при наличии пожароопасного подроста или густого подлеска и валежа. Крутизна склона 10° и более создает ступенчатую структуру древостоя и тем самым увеличивает опасность возникновения верхового пожара. Поэтому для оценки возможности перехода огня в полог древостоя необходимо дополнительно знать характеристики насаждения, подроста, подлеска и иметь сведения о рельефе местности.

Информация о лесных горючих материалах позволяет оценить лишь одну сторону пожарной опасности лесных участков. Вторая сторона – оценка влаго-содержания ЛГМ или связанных с ним показателей пожарной опасности по условиям погоды, третья – оценка вероятности появления на лесных участках источников огня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д.Л. Наука о ландшафтах. М: Мысль, 1975. 141 с.
2. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с.
3. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 239 с.
4. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
5. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск, 1947. 60 с.
6. Пожарная опасность в природных условиях / М.А. Софронов [и др.]. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. 330 с.
7. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.
8. Софронов М.А. Лесные пожары в горах южной Сибири. М.: Наука, 1967. 148 с.
9. Шешуков М.А. Пирогенез – важнейший фактор формирования лесов // Горение и пожары в лесу. Красноярск, 1984. С. 99–100.
10. Яковлев А.П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 195–213.
11. Rothermel R.C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels: USDA Forest service research paper INT-115. Ogden, Utah, 1972. 40 p.
12. The National Fire-Danger Rating System. J.E. Deeming [et al.] N.-Y.; London; Toronto; USDA., Forest Service, 1972. 165 p.
13. Trabaund L. Fuel mapping helps forest fire- fighting in Southern France // Fire Management Notes. 1978. N 1. P. 14–17.

Поступила 28.06.11

V.G. Gusev, E.L. Lopuhova, V.K. Dubovy

St. Petersburg Forestry Research Institute

Classification and the General Properties of Wood Combustible Materials

Principles of classification of wood combustible materials are analysed, domestic and their foreign classifications are considered, the classification, allowing to predict possible kinds of forest fires in protected wood territory is offered.

Keywords: classification, wood combustible materials, wood пирология, a moisture content, a class of fire danger, the basic conductors of burning, forest fire, a local fire, a riding fire, a soil fire.

УДК543.54:547.992.2

**И.А. Кузнецова¹, К.Г. Боголицын^{1,2}, Н.С. Ларионов^{1,2}, Т.А. Бойцова¹,
И.А. Паламарчук¹, А.С. Аксенов¹**

¹ Институт экологических проблем Севера УрО РАН

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Кузнецова Ирина Андреевна родилась в 1987 г., окончила в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН. Имеет 5 печатных работ в области экологической химии.
E-mail: kia.iepn@gmail.com



Ларионов Николай Сергеевич родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории химии растительных биополимеров ИЭПС УрО РАН, преподаватель кафедры теоретической и прикладной химии Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 20 печатных работ в области экологической химии.
E-mail: nikolay.larionov@gmail.com



ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПО ОТНОШЕНИЮ К Сd(II) И Pb(II)*

Определен элементно-функциональный состав гуминовых кислот, изучена их сорбционная способность по отношению к ионам свинца и кадмия; проанализирована связь функционального состава гуминовых кислот с их сорбционной способностью.

Ключевые слова: гуминовые кислоты, элементный состав, функциональный состав, молекулярная масса, сорбция, тяжелые металлы.

Одна из фундаментальных проблем химии растворов природных многоатомных молекул – установление взаимосвязи между их структурой и физико-химическими свойствами. Поэтому актуальной задачей является изучение макролигандных свойств гумусовых кислот, благодаря которым они играют важную роль в процессах самоочищения водных и почвенных экосистем, связывая как тяжелые металлы, так и органические экотоксиканты [7]. Гумусовые кислоты от-

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 16.740.11.0159), программы Президиума РАН (№ 12-П-5-1021), программы межрегиональных и межведомственных фундаментальных исследований УрО РАН (№ 12-С-5-1017).

©. Кузнецова И.А., Боголицын К.Г., Ларионов Н.С., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Аксенов А.С.

носятся к наиболее обширному и реакционноспособному классу природных соединений, входящих в состав органического вещества почв, природных вод и твердых горючих ископаемых. В химическом отношении гумусовые кислоты представляют собой смесь гуминовых (ГК) и фульвовых (ФК) кислот, отличающихся между собой элементарным составом, растворимостью и диапазоном молекулярных масс. В процессах комплексообразования проявляется противоположная геохимическая роль фракций гумусовых кислот. ФК относятся к растворимой составляющей, поэтому миграционная способность металлов в форме фульватных комплексов возрастает. В отличие от ФК гуминовые кислоты растворимы только в щелочных растворах. В природных системах такие условия не встречаются, и ГК ведут себя как комплексообразующие сорбенты, удерживая и концентрируя элементы в почвах, взвешях вод, донных отложениях.

Свойства и состав гумусовых кислот зависят от химического состава растений-торфообразователей, прежде всего от содержания в них лигнина, поскольку он является главным источником ароматических фрагментов торфяных ГК. Чем больше лигнина содержится в растениях-торфообразователях, тем больше ароматических фрагментов в составе гумусовых кислот торфа [1]. Соответственно гумусовые кислоты разных видов торфа будут различаться структурой и физико-химическими свойствами.

Цель работы – изучение сорбционной способности гуминовых кислот по отношению ионам свинца и кадмия.

Для исследований взят образец ГК, выделенный из верхового торфа Архангельской области в соответствии с методикой [6]. Функциональный анализ ГК проведен с использованием общепринятых методик [2, 3], элементный – на установке Elementar Vario Micro CUBE в лаборатории химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Для сравнения молекулярно-массовых характеристик выделенных препаратов использовали коммерческий образец ГК фирмы «Aldrich» (ГК-AL), полученный из леонардита.

Исследование сорбции ионов Cd^{2+} и Pb^{2+} (особо опасные тяжелые металлы, относящиеся к *d*- и *p*-элементам соответственно и имеющие разную сорбцию в различных областях pH) из водных растворов их солей проводили в статических условиях при соотношении сорбент – модельный раствор 1 : 200 и pH 3,0. Диапазон концентраций ионов Cd^{2+} составлял 11 ... 1000 мг/л, а ионов Pb^{2+} – 9 ... 910 мг/л. Равновесную концентрацию ионов Cd^{2+} и Pb^{2+} в растворах определяли атомно-абсорбционным методом на спектрометре повAA 315 (Analytik Jena AG).

Для изучения поведения макромолекул гумусовых кислот навеску ГК растворяли в небольшом количестве 0,1 н NaOH. Полученный раствор гумата натрия (ГNa) доводили дистиллированной водой до pH 7.

Химические свойства ГК определяются составом и содержанием функциональных групп, (карбоксильных, фенольных и алифатических гидроксильных, карбонильных и др.). Наибольшее значение имеют способные ионизироваться карбоксильные и фенольные функциональные группы. Атомные соотношения

Н/С и О/С позволяют оценить структуру полимера, содержание ненасыщенных фрагментов и кислородсодержащих функциональных групп. Так, при соотношении $N/C < 1,0$ в структуре ГК преобладают ароматические фрагменты. Чем меньше это соотношение, тем больше вклад гидрофобного ароматического каркаса в структуру ГК и тем более гидрофобным является препарат. Если это соотношение находится в диапазоне 1,0...1,4, то структура ГК имеет преимущественно алифатический характер [5].

В соответствии с вышесказанным и данными табл. 1 атомное соотношение Н/С для ГК составляет 1,09, т. е. в структуре исследуемых образцов ГК присутствуют как ароматические, так и алифатические фрагменты линейного строения.

Для объяснения и прогнозирования химического поведения ГК и их реакционной способности по отношению к полярным и ионным соединениям необходимо получить информацию о количественном содержании основных функциональных групп. Данные табл. 1 показывают, что ГК характеризуются высоким содержанием функциональных групп.

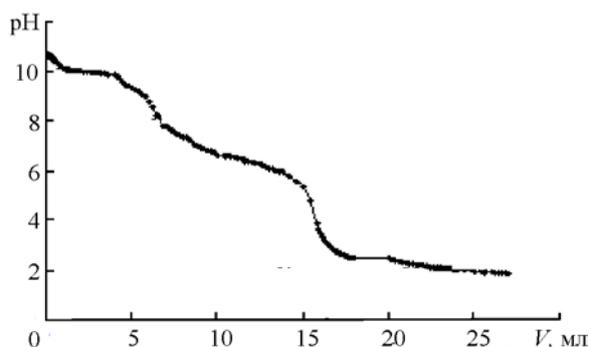
Потенциометрические измерения проводили на рН-метре 211 производства фирмы «Hanna instruments» с комбинированным стеклянным электродом HI 1131В в качестве измерительного.

На рисунке приведен график обратного потенциометрического титрования раствора гумата натрия.

Наличие двух точек эквивалентности в слабокислой и слабощелочной среде на кривой потенциометрического титрования свидетельствует о присутствии в макромолекуле ГNa различных по природе и силе функциональных групп ($-COOH$ и $-OH$). Основные области диссоциации карбоксильных и фенольных гидроксильных групп характеризуются значениями рК 4,4 и 9,2 (см. рисунок), что соответствует литературным данным.

Таблица 1

Характеристика ГК	
Показатель	Значение показателя
Среднемассовая ММ, а. е. м.	36 700
Элементный состав ГК, %:	
N	2,3±0,2
C	51,5±3,9
H	4,7±0,2
S	2,1±0,1
O	39,4±0,2
Атомное соотношение:	
Н/С	1,09
О/С	0,57
Содержание функциональных групп, %	
$-COOH + -OH$, %	13,17±1,10
$-COOH$, %	4,81±0,40
$-OH$, %	8,36±0,83



Потенциометрическое титрование гумата натрия раствором HCl (концентрация 0,1 н)

Известно, что взаимодействие тяжелых металлов с гумусовыми кислотами происходит преимущественно по механизму образования комплексных соединений с координационной связью «гумусовая кислота – металл» [4]. Координация осуществляется через атом кислорода донорных групп (метоксильных, карбоксильных, фенольных) гумусовых кислот. Возможен обмен и за счет ионов водорода кислородсодержащих функциональных групп. Кислотные и полиэлектролитные свойства определяют реакционную способность гумусовых кислот, которые играют важную роль в процессах миграции тяжелых металлов, радионуклидов и органических экотоксикантов, контролируя их геохимические потоки в окружающей среде.

Предельную сорбционную способность ГК по отношению к ионам Cd^{2+} и Pb^{2+} рассчитывали с помощью уравнений изотерм Фрейндлиха, Ленгмюра (теория мономолекулярной адсорбции) и математического аппарата теории БЭТ (Брунауэра, Эммета и Теллера), описывающей полимолекулярную адсорбцию. Использование для обработки экспериментальных данных разных уравнений обусловлено неоднородностью сорбционных центров и характером изотерм сорбции гумусовых кислот.

Основные области диссоциации карбоксильных и фенольных гидроксильных групп характеризуются следующими значениями рК: 3,5...4,0 и 8,5...9,0 соответственно [8]. Следовательно, изотерма сорбции вряд ли может быть однородной во всем диапазоне насыщения гумусовых кислот ионами металла. При этом в реальных условиях возможно наложение зависимостей, характеризующих сорбцию ионов металлов с участием функциональных групп разных типов. Предельная сорбция (G_{∞} , β и Am) и коэффициенты (k и n) уравнений изотерм сорбции представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 1 и 2, для исследованных образцов наблюдается хорошее соответствие результатов определения карбоксильных групп и сорбционных характеристик гумусовых кислот, рассчитанных по уравнению Ленгмюра ($R^2 = 0,4634$ – умеренная корреляция) и согласно теории БЭТ ($R^2 = 0,9972$ – значимая корреляция).

Таблица 2

**Параметры сорбции катионов Cd²⁺ и Pb²⁺ гуминовых кислот
в статических условиях при температуре 296 К**

Ион металла	Уравнение Ленгмюра		Уравнение Фрейндлиха		Уравнение теории БЭТ	
	G_{∞} , г/г	k	β , мг/г	n	Am , мг/г	k
Pb ²⁺	89,286	0,034	4,988	0,435	54,35	31,6
Cd ²⁺	20,576	0,407	3,592	0,422	23,36	21,4

Таким образом, количественные характеристики процесса сорбции ионов тяжелых металлов гумусовыми кислотами позволяют характеризовать их как высокоактивные природные сорбенты и применять в качестве сорбентов приоритетных неорганических поллютантов – тяжелых металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостищева М.В., Федько И.В., Щеголихина А.И. Оценка молекулярных параметров гуминовых кислот торфов, полученных разными способами // Новые достижения в создании лекарственных средств: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Томск, 2006. С. 71 – 74.
2. Закис Г.Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. Рига: Зинатне, 1987. 230 с.
3. Климова В.А. Основные микрометоды анализа органических соединений. М.: Химия, 1975. 224 с.
4. Куликова Н.А. Защитное действие гуминовых веществ по отношению к растениям в водных и почвенных средах в условиях абиотических стрессов: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М., 2008. 32 с.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: МГУ, 1974. 177 с.
6. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.
7. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: автореф. дисс.... докт. хим. наук. М., 2000. 50 с.
8. Стокс Р., Робинсон Р. Растворы электролитов. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 647 с.

Поступила 20.10.11

I.A. Kuznetsova¹, K.G. Bogolitsyn^{1,2}, N.S. Larionov^{1,2}, T.A. Boytsova¹, I.A. Palamarchuk¹, A.S. Aksenov¹

¹Institute of Ecological Problems of the North, Ural Division, Russian Academy of Sciences

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

Research in Sorption Properties of Humic Acid with Cd (II) and Pb (II)

Defined element-functional composition of humic acids studied by sorption capacity of humic acids in relation to ions of lead and cadmium; analyzed the functional relationship of the humic acids and their sorption capacity.

Keywords: humic acid, elemental composition, functional composition, molecular weight, sorption, and heavy metals.



ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 061.75

ПАМЯТИ УЧИТЕЛЯ (к 100-летию со дня рождения Н.А. Батина)



В историю лесной науки Николай Арсеньевич Батин вошел как выдающийся ученый, талантливый педагог и организатор лесотехнического образования Беларуси.

Н.А. Батин родился 8 марта 1911 г. в Вологодской области. После окончания Архангельского лесотехнического института и аспирантуры он в 1939 г. защитил кандидатскую диссертацию и работал доцентом и деканом факультета механической технологии древесины АЛТИ.

С первых и до последних дней Великой Отечественной войны Николай Арсеньевич в составе Ленинградского, Волховского и 1-го Украинского фронтов защищал Родину.

С 1946 г. его жизнь и деятельность неразрывно связаны с Белорусским технологическим университетом (бывший Белорусский лесотехнический институт), куда его пригласило руководство вуза.

В течение 15 лет Н.А. Батин работал проректором института по учебной и научной работе. В этот тяжелый послевоенный период много сил им было отдано восстановлению и развитию института, расширению его учебно-лабораторной базы, совершенствованию учебной, научно-исследовательской и воспитательной работы.

Он являлся основателем кафедры технологии деревообрабатывающих производств (бывшая кафедра технологии пиломатериалов) и возглавлял ее в течение 40 лет.

Н.А. Батин – крупный ученый в области теории и практики рационального раскрытия пиловочного сырья, его глубокие оригинальные теоретические исследования, известные широкому кругу специалистов, включены в учебную литературу, внедрены в производство. В 1964 г. он защитил докторскую диссертацию. Научные труды профессора Н.А. Батина, посвященные рациональному использованию древесины и сбережению лесных ресурсов, и в настоящее время востребованы специалистами. Они способствуют решению значимой для человечества проблемы – созданию ресурсосберегающих и экологически чистых технологий.

© Коллеги и ученики, 2012

Свои богатые знания и большой жизненный опыт Н.А. Батин щедро отдавал молодежи. Им создана научная школа по теории раскрытия пиловочного сырья, рациональному и комплексному использованию древесины и совершенствованию технологии и оборудования лесопильно-деревообрабатывающих производств. Многие его ученики успешно работают в высших учебных заведениях, научно-исследовательских учреждениях и на деревообрабатывающих предприятиях Беларуси, России и других стран.

За большие заслуги Н.А. Батин был награжден многими орденами и медалями, ему было присвоено почетное звание заслуженного работника высшей школы БССР.

Большое трудолюбие и добросовестное отношение к работе, принципиальность и требовательность к себе и другим, простота и скромность, чуткое и внимательное отношение к студентам и коллегам – замечательные качества Николая Арсеньевича. Все что он ни делал, он делал красиво!

Коллеги и ученики

Colleagues and followers

In the Memory of the Teacher (by 100th anniversary of N.A. Batin's Birth)



ЮБИЛЕИ

УДК 06. 091

К ЮБИЛЕЮ ЕВГЕНИЯ НИКОЛАЕВИЧА СЕРОВА



В феврале 2012 г. исполнилось 80 лет доктору технических наук, профессору кафедры конструкций из дерева и пластмасс Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, почетному работнику высшего профессионального образования РФ Евгению Николаевичу Серову.

Он родился в пос. Красный Бор Тосненского района Ленинградской области. Во время Великой Отечественной войны жил и посильно боролся с врагом на оккупированной территории. В 1949 г. поступил в Ленинградский архитектурный техникум, после окончания которого служил на флоте. Совмещая работу с учебой на вечернем отделении, в 1963 г. закончил Ленинградский инженерно-строительный институт.

С 1964 г. по настоящее время вся его жизнь связана с ЛИСИ (СПбГАСУ) и кафедрой конструкций из дерева и пластмасс, где он прошел путь от ассистента до профессора. С 1975 г. по 1980 г. возглавлял факультет заочного обучения.

Евгений Николаевич в 1971 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование деформативности и прочности клеефанерных рам», а в 1989 г. – докторскую («Рациональное использование анизотропии прочности в клееных деревянных конструкциях (КДК) массового изготовления»).

Совмещая педагогическую, общественную и административную деятельность, Е.Н. Серов постоянно работает по важнейшим народно-хозяйственным темам Госстроя и Госплана СССР, Минвуза РСФСР, координационным планам ЦНИИСК.

Многолетние фундаментальные экспериментально-теоретические исследования в области деревянных конструкций позволили ему получить очень важные результаты, в основу которых положены принципы рационального конструирования КДК с учетом новых воззрений на оценку их прочности. Наряду с известным принципом дробности, сформулированным Г.Г. Карлсеном в 1930 г., Е.Н. Серов вводит три дополнительных: принцип следящей ориентации (согласования полей действующих напряжений с полями сопротивления анизотропных материалов); принцип равнопрочности или «сбалансированной прочности» крупных элементов КДК с узлами их сопряжения, особенно под углами; принцип струны в нагельных соединениях и при усилении конструкций. В рамках этих принципов и воззрений им разработаны, апробированы и внедрены новые клеешпательные и клеефанерные конструкции, многие из которых защищены патентами и свидетельствами на изобретения.

По результатам НИР и ОКР проф. Е.Н. Серовым опубликовано около 130 научных работ. Он является соавтором важных нормативных документов, в их числе: «Руководство по проектированию КДК» (1977 г.); «Пособие по проектированию деревянных конструкций (ДК)» (к СНиП 11-25-80, 1986 г.); «Строительные нормы проектирования ДК Беларуси» (ТКП 45-5.05-146-2009); «Российские нормы проектирования ДК» (СП-64-13330-2011) и др. В 2011 г. в соавторстве и под его редакцией вышло новое учебное пособие «Проектирование деревянных конструкций», получившее высокую оценку научно-технической и педагогической общественности вузов.

Е.Н. Серов был зам. председателя секции деревянных конструкций ЛенНТО стройиндустрии, членом президиума местного комитета ЛИСИ, членом оргкомитетов ежегодных научно-технических конференций в ЛИСИ-СПбГАСУ. С 1979 г. является членом диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Евгений Николаевич Серов – активный автор ИВУЗ «Лесной журнал» в области механики композиционных материалов, расчетов деревянных конструкций и технологии их изготовления.

За свою многолетнюю плодотворную научную, педагогическую и общественную деятельность он награжден нагрудными знаками «Победитель соцсоревнования», «Отличник соцсоревнования Минстроя СССР», серебряной медалью и дипломом почета ВДНХ СССР, отмечен приказами, премиями Минвуза РСФСР.

Сердечно поздравляем юбиляра и желаем ему крепкого здоровья, долголетия, благополучия, успехов в реализации творческих замыслов.

*Ректорат С.-Петербургского государственного
архитектурно-строительного университета,
редколлегия «Лесного журнала»,
ученики, коллеги, друзья*

Administration of the Saint-Petersburg State University of Architecture and Construction, Editorial staff of the "Forest Journal", pupils, colleagues, friends

Devoted to Eugeny Nikolayevich Serov's anniversary

УДК 06.091

ЮБИЛЕЙ ЕВГЕНИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА ПАМФИЛОВА

В 2011 г. исполнилось 70 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора, проректора Брянской государственной инженерно-технологической академии (БГИТА) Евгения Анатольевича Памфилова.

Евгений Анатольевич родился в г. Брянске 6 июля 1941 г. в семье потомственных инженеров-преподавателей, проявивших себя в сфере российского технического профессионального образования.

Е.А. Памфилов окончил в 1958 г. среднюю школу и поступил в Брянский институт транспортного машиностроения. В это же время начал работать фрезеровщиком на Брянском заводе дорожных машин. После окончания института он продолжил работу на этом заводе в должности инженера, а затем ведущего инженера-технолога. Творческая обстановка, созданная на предприятии в те годы, способствовала активному участию Е.А. Памфилова в совершенствовании и внедрении в производство передовых технологий. В 1966 г. впервые в отрасли строительного и дорожного машиностроения под руководством Е.А. Памфилова была создана научно-внедренческая лаборатория электрических методов обработки материалов. За эту работу и другие трудовые достижения Е.А. Памфилов был награжден знаком ЦК ВЛКСМ «Молодому передовику производства».

Начало его инженерной деятельности на заводе совпало с преподаванием в заводском вечернем машиностроительном техникуме, Всесоюзном заочном финансово-экономическом институте, Брянском государственном техническом университете и Брянской государственной инженерно-технологической академии.

Е.А. Памфилов выступил инициатором и организатором ряда региональных научно-технических конференций по вопросам повышения надежности и долговечности строительных, дорожных и лесозаготовительных машин. Одновременно Е.А. Памфилов работал над кандидатской диссертацией под руководством известного металловеда проф. М.М. Кантора и основоположника отечественной триботехнической науки проф. М.М. Хрущова.

В 1970–2000 гг. Евгений Анатольевич продолжал активную деятельность по выполнению исследовательских работ в соответствии с координационными планами Государственного комитета по науке и технике СССР, Академии наук СССР, Госстандарта СССР, отраслевых министерств, научно-исследовательских институтов и предприятий и др.

В эти же годы сформировалось основное направление исследований Е.А. Памфилова – изучение механизмов изнашивания материалов и изделий в условиях динамических нагрузок, низких температур, повышенных скоростей; разработка методов испытаний в указанных условиях и их стандартизация; материаловедческое и технологическое обеспечение износостойкости деталей машин и инструментов лесного комплекса. Это направление переросло в научную школу БГИТА, которая успешно развивается.

Под руководством Е.А. Памфилова был выполнен широкий круг фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ в интересах ма-

шиностроительной, приборостроительной и деревообрабатывающей отраслей, созданы новые конструкции машин и инструментов, обоснованы процессы упрочняющей обработки, предложены методы их исследования. Результаты выполненных им исследований нашли широкое применение в промышленности.

Е.А. Памфиловым и сотрудниками основанной им научной школы было подготовлено большое число публикаций, созданы государственные стандарты и нормативные методические указания, получены десятки авторских свидетельств СССР и патентов РФ. По результатам выполненных работ им была подготовлена диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.

Под научным руководством Е.А. Памфилова подготовлены и защищены около 20 докторских и кандидатских диссертаций по научным специальностям «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства», «Древесиноведение, технология и оборудование деревообработки», «Материаловедение (машиностроение)», «Технология машиностроения», «Металловедение и термическая обработка», «Трение и износ в машинах» и др.

Е.А. Памфиловым установлены и постоянно поддерживаются плодотворные международные контакты. В 1997 г. им была создана Брянская региональная группа международного общества SAE по развитию мобильной техники (США), которая способствует использованию в отечественной промышленности мировых научных достижений и содействует информационному обмену между российскими и зарубежными специалистами.

Он является членом совета по науке и научной деятельности при губернаторе Брянской области, председателем президиума Брянского научно-координационного центра, объединяющего большинство ученых региона, членом бюро и руководителем секции Межведомственного научного совета Минобрнауки РФ и РАН по проблемам трибологии, членом научно-технического совета Ассоциации промышленных и коммерческих предприятий Брянской области. Является членом редакционных коллегий журналов «Трение, износ и смазка» и «Брянск федеральный».

Е.А. Памфилов активно участвует в общественно-политической жизни страны. Он привлекался к формированию Общественной палаты РФ, избран членом президиума Общественного совета Центрального федерального округа и Общественного совета содействия просветительскому движению России.

За заслуги в профессиональной и общественной деятельности Е.А. Памфилов неоднократно награждался правительственными наградами.

Поздравляем Евгения Анатольевича со славным юбилеем, желаем ему доброго здоровья, новых творческих успехов, личного счастья.

Коллеги, друзья, ученики

Colleagues, friends, followers

Jubilee of Eugeny A. Pamfilov



НЕКРОЛОГИ

ПАМЯТИ КОЛЛЕГИ

25 ноября 2011 г. исполнилось бы 70 лет со дня рождения А.А. Митрофанова, доктора технических наук, профессора, академика РАЕН.

Александр Александрович начал свою трудовую деятельность рабочим лесосплава Усть-Пинежской заповани. В 1964 г. окончил Архангельский лесотехнический институт (АЛТИ). После службы в Вооруженных силах СССР работал два года в Северном научно-исследовательском институте промышленности, в 1967 г. поступил в аспирантуру при кафедре водного транспорта леса и гидравлики АЛТИ. После ее окончания работал на той же кафедре ассистентом, старшим преподавателем, доцентом, профессором, с 1997 г. по 2010 г. заведующим кафедрой.

В 1974 г. А.А. Митрофанову присуждена ученая степень кандидата, в 1999 г. – доктора технических наук.

А.А. Митрофанов – один из ведущих ученых РФ в области водного транспорта леса. Им создано новое научное направление исследований – «Научное обоснование и разработка экологически безопасного высокоэффективного лесосплава». Выполненные фундаментальные исследования явились научным обоснованием теоретического и экспериментального решения проблемы определения гидродинамических и инерционных характеристик лесотранспортных единиц современных конструкций и методики определения несущей способности русловых и береговых опор, основанной на фундаментальных положениях теории предельного равновесия грунта. Они послужили теоретической основой сформулированных и разработанных им основных направлений развития водного транспорта леса в современных условиях по рекам с недостаточными глубинами, вошедших в программу развития лесопромышленного комплекса Архангельской области на 2001–2005 гг. и в стратегию развития лесного машиностроения РФ на 2001–2005 гг.

Он был не только докладчиком на 10 международных и 20 всероссийских семинарах и конференциях, но и организатором всероссийских и международных конференций (г. Архангельск, 2000 г.; г. С.-Петербург, 2001 г.; г. Вологда, 2003 г.).

Александр Александрович – автор более 200 научных трудов, в том числе двух монографий и около 50 патентов и авторских свидетельств СССР и РФ, более половины из которых внедрены в производство. Одно из учебных пособий издано при поддержке Европейского экономического сообщества в соответствии с международным проектом TEMPUS.

Возглавляя кафедру, А.А. Митрофанов уделял большое внимание созданию и расширению ее лабораторной базы, повышению научно-технического уровня лекционных курсов, внедрению в учебный процесс инновационных технологий.

Под руководством А.А. Митрофанова защищено четыре кандидатских диссертации.

А.А. Митрофанов проводил большую научно-методическую, организационную и воспитательную работу. Он являлся членом экспертной группы по проблемам технологии и экономики водного транспорта леса при Минэкономике РФ, членом секции «Лесозаготовительные машины» Главного научного центра лесопромышленного комплекса при Минпромнауки РФ, членом диссертационного совета по защите докторских диссертаций и членом учебно-методической комиссии УМО в области лесного дела Минобразования РФ, членом ученого совета и научно-технического совета АГТУ, возглавлял учебно-методическую комиссию факультета природных ресурсов.

За достигнутые успехи А.А. Митрофанов в разные годы награжден знаками «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» и «Изобретатель СССР», почетными грамотами Минпромнауки РФ и Государственного комитета РФ по лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, грамотами Ломоносовского фонда, Росприроднадзора по Архангельской области. Являлся заслуженным работником высшей школы РФ.

Светлая память о А.А. Митрофанове сохранится в наших сердцах.

*Коллектив кафедры водного
транспорта леса и гидравлики
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

*Collective of department of wood materials waterborne transport and hydraulics
of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov*

In Memory of our Colleague

ХРАНИТЕЛЬ ИСТОРИИ ЛЕСОВ РОССИИ (памяти Г.И. Редько)



24 ноября 2011 г. ушел из жизни Георгий Иванович Редько, лесовод-лесокультурник, ученый с мировым именем, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН и НАН Украины, лауреат медали и премии Ломоносовского фонда, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Георгий Иванович родился 25 ноября 1930 г. в пос. Благодатное Волновахского района Донецкой области в семье рабочего. После окончания в 1949 г. Великоанадонского лесного техникума он получает специальность техника-лесовода и становится студентом лесохозяйственного факультета Ленинградской лесотехнической академии, которую блестяще заканчивает в 1954 г. Затем аспирантура Института леса АН УССР и УкрНИИЛХа и успешная защита кандидатской диссертации на тему «Культуры тополя в лесостепи УССР» (1959 г.) и докторской диссертации «Биология тополей и их разведение на Украине» (1971 г.).

Докторская диссертация, принесшая Георгию Ивановичу известность в научных кругах, явилась фундаментальной монографией, обобщающей научный и производственный опыт лесоводов и многолетние собственные эксперименты по выращиванию тополей на Украине, и стала ценным вкладом в лесоводственную науку и практику. После защиты ему было предложено занять должность заведующего кафедрой лесных культур Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова (ЛТА), где он проработал 25 лет.

В этот период раскрылся его талант ученого и педагога. Г.И. Редько стал инициатором проведения ежегодных творческих встреч преподавателей-лесокультурников страны. Первая была проведена в 1978 г. на базе кафедры лесных культур ЛТА.

Плодотворно совмещая педагогическую и научно-исследовательскую деятельность с работой проректора ЛТА по научной работе, он много сделал для расширения тематики важнейших исследований и внедрения их результатов в производство, увеличения объема НИР.

Георгий Иванович очень внимательно относился к молодым ученым, под его руководством подготовлено 35 кандидатов и 7 докторов наук не только из России, но и из Сирии, Египта, Вьетнама, Китая, ГДР, Судана.

Профессор Г.И. Редько проводил и большую просветительскую работу, делился педагогическим опытом, выступая с лекциями в лесных вузах Архангельска, Красноярска, Воронежа, Киева и др., выезжал в научные командировки в Болгарию, Венгрию, Китай, Монголию, США, Польшу, Финляндию, Чехословакию.

Георгий Иванович – автор более 250 публикаций, в том числе 23

монографий. Являясь крупным ученым в области лесокультурного дела, он становится автором трех изданий учебника в области лесокультурного дела, им разработаны практические рекомендации по плантационному выращиванию тополей, технологии создания культур дуба в Тульских засеках, лесной рекультивации земель. На основе изучения закономерностей взаимодействия древесных и кустарниковых пород в смешанных культурах им разработаны типы лесных культур.

Г.И. Редько много внимания уделял истории лесного хозяйства, восстановил истоки создания, современное состояние, значение для науки и практики многих выдающихся лесокультурных объектов. Он открыл научной общественности Петра I, как первого лесоведа-практика, сделавшего колоссальный вклад в восстановление, сбережение и рациональное использование корабельных лесов России, освещал жизнь и деятельность Ф.Г. Фокеля, а также целой плеяды лесных знателей России первой половины XVIII в. Издание книги «Полковник корпуса лесничих», повествующей о судьбе пионера степного лесоведения В.Е. фон Гроффа, вызвало огромный интерес в научном мире.

Деятельность Г.И. Редько отмечена почетными званиями, орденами, медалями.

Многогранные научные интересы, эрудиция и талант исследователя, интеллигентность, обаяние личности, благожелательное отношение к людям, величайший такт и трогательная мудрость, любовь к молодежи поставили его в ряд наиболее крупных ученых-лесоводов России, принесли широкую известность, глубокое уважение и признание.

Его ученики с глубокой любовью и благодарностью будут беречь память о нем и продолжать его дело.

*Кафедра ландшафтной архитектуры и искусственных лесов
С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова,
кафедра лесных культур СПбГЛТУ им. С.М. Кирова,
редколлегия «Лесного журнала»*

Department of landscape architecture and artificial forests, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Department of forest plantations, Saint-Petersburg Technical University named after S.M. Kirov, Editorial staff of the "Forest Journal".

The Custodian of the Russian Forests History (in memory of G.I. Redko)

ПАМЯТИ ОЛЕГА АЛЕКСЕЕВИЧА НЕВОЛИНА



19 января 2012 г. ушел из жизни замечательный человек, ученый-лесовод, талантливый педагог Неволин О.А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заслуженный лесовод РСФСР, почетный работник высшего профессионального образования РФ.

Олег Алексеевич родился в 1929 г. в с. Топса Виноградского района Архангельской области. Окончил в 1946 г. Тотемский лесной техникум, работал лесотехником в Междуреченском леспромхозе треста «Вологдабумлес». После окончания в 1952 г. лесохозяйственного факультета Архангельского лесотехнического института он работал инженером-таксатором, начальником лесоустроительной партии, начальником Архангельской аэрофотолесоустроительной экспедиции. Много сил Олег Алексеевич отдавал развитию северного лесоустройства, заботе о людях, коллегах по нелегкой работе. И в дальнейшем он никогда не прерывал связь с производством, своими научными трудами, совместными разработками с производственниками постоянно совершенствуя практику северного лесоустройства. Результатом совместного творчества стали книги «История Архангельского лесоустройства» (2000, 2011 гг.) и «Лесоустройство» (2003 г.), которая в дальнейшем легла в основу учебного пособия для студентов «Лесоустройство» (2005 г.).

С 1961 г. он на кафедре лесной таксации и лесоустройства АЛТИ. В 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию по основам организации хозяйства в высокопродуктивных смешанных сосновых древостоях Севера и в 1969 г. по материалам диссертации опубликовал монографию «Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера».

Многие годы он передавал свои знания в области лесоустройства, лесопромышленного управления, организации и планирования лесохозяйственного производства, лесной таксации и введения в специальность лесовода студентам АЛТИ-АГТУ-С(А)ФУ, много времени уделяя работе с дипломниками, внимательно и кропотливо рассматривая с ними премудрости лесного дела, природы леса и др.

За годы преподавательской деятельности Олегом Алексеевичем подготовлены сотни инженеров для лесного хозяйства Севера, опубликовано множество учебных и методических пособий, отличающихся доходчивостью изложения и глубокой проработанностью материала. Им опубликовано более 150 печатных научных и учебно-методических работ в области изучения высокопродуктивных лесов Севера и организации хозяйства в них, история лесного хозяйства и лесоустройства. Результаты его исследований отражены также в научных отчетах, докладах на региональных и международных конференциях в Архангельске и других городах России. Составленные им нормативы нашли применение в работе лесоустроительных экспедиций, лесничеств и лесозаготовительных предприятий.

Многие годы Олег Алексеевич был членом редколлегии «Лесного журнала», одного из ведущих научных изданий, известного в научных кругах как в России, так и других странах мира. Много сил, времени и внимания он отдавал кропотливой редакторской работе, чтобы увидели свет передовые мысли и разработки ученых-лесоводов.

Двенадцать лет (с 1968 г. по 1980 г.) он работал по совместительству деканом заочного факультета АЛТИ. Здесь он показал себя как замечательный организатор и педагог.

О.А. Неволин награжден медалями «Ветеран труда», «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «50 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», знаками «Отличник социалистического соревнования Министерства сельского хозяйства СССР», «За отличные успехи в работе высшей школы СССР» и «За сбережение и приумножение лесных богатств РСФСР» Минвуза РСФСР. За полувековую безупречную деятельность по подготовке высококвалифицированных специалистов лесного хозяйства в 2011 г. О.А. Неволину присвоено почетное звание «Ветеран Северного (Арктического) федерального университета им М.В. Ломоносова».

Ученики и коллеги по работе будут помнить годы учебы и совместной работы с Олегом Алексеевичем Невוליным.

*Ректорат и коллектив
Лесотехнического института САФУ имени М.В. Ломоносова,
редколлегия и редакция «Лесного журнала»*

*Administration, Staff of Forestry Institute of the SAFU,
Editorial staff of the "Forest Journal"*

In Memory of Oleg Alexeyevich Nevolin
