

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

1/337

2014

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 1/337

Подписной индекс 70368

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

Сдан в набор 11.12.2013. Подписан в печать 17.02.2014. Заказ № 2133
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,125.
Уч.-изд. л. 9,493. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

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

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

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

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2014

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoi Zhurnal

Scientific journal

Established in 1833
Issued as part of the
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958
Published 6 times a year

1/337

2014

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

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

EDITORIAL BOARD:

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

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

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

Subscription index 70368

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

Sent to the printer's 11.12.2013. Signed in print 17.02.2014. Order no. 2133
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 13.125.
Acad. publ. sh. 9.493. Circulation 1000 copies. Not sold by retail.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

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

Registration certificate ПИ № ФС77-45647 issued on 05.07.2011.

NArFU Publishing House
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”
56 Uritskogo St., Arkhangelsk, 163002



СОДЕРЖАНИЕ

<i>В.В. Комаров.</i> Международный год лесов	9
<i>ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО</i>	
<i>С.Н. Тарханов, С.Ю. Бирюков.</i> Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат <i>Pinus Sylvestris</i> L. и <i>Picea obovata</i> Ledeb. × <i>P. Abies</i> (L.) Karst. в северной тайге бассейна Северной Двины	20
<i>С.Н. Дроздов, Е.С. Холопцева, Т.А. Сазонова.</i> Свето-температурная характеристика семян березы пушистой <i>Betula pubescens</i> (Betulaceae).....	27
<i>И.С. Коновалова, Н.А. Бабич, С.Н. Марич.</i> Фитоценогическая значимость сорных растений лесных питомников.....	37
<i>С.М. Говорушко.</i> Экологические последствия лесозаготовок.....	45
<i>В.С. Вернодубенко, Н.А. Дружинин.</i> Особенности формирования ранней и поздней древесины сосны на торфяных почвах.....	54
<i>П.И. Назмиев.</i> Структура темнохвойных лесов национального парка «Зюраткуль»	62
<i>О.Н. Тюкавина.</i> Изменение структуры годичных колец сосны под влиянием осушения.....	72
<i>ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ</i>	
<i>Д.Г. Мясичев, Д.Е. Маковеев.</i> Использование средств малой механизации для вывозки отходов рубок ухода в парковых зонах.....	81
<i>А.Б. Жирнов, А.В. Баранов, Н.А. Костенко.</i> Технология заготовки древесины в горных лесах Дальнего Востока.....	88
<i>МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ</i>	
<i>И.Т. Глебов, В.В. Глебов.</i> Зависимость сил резания от направления строгания и ширины кромок фанеры.....	93
<i>А.Э. Пиир, В.И. Мелехов, В.Б. Кунтыш.</i> Выбор древесного топлива для малой энергетики.....	101
<i>ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ</i>	
<i>Н.Г. Чистова.</i> Экспериментальное и теоретическое моделирование энергозатрат при получении древесноволокнистых полуфабрикатов.....	109
<i>Н.В. Сысоева, В.В. Коваленко.</i> Влияние критической длины стеклянных волокон на качество бумагоподобных материалов фильтровального назначения.....	118
<i>А.И. Дернов, Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев, Н.В. Красикова.</i> Комплексная оценка прочности и когезионной способности волокон как элементов структуры целлюлозных материалов.....	125
<i>Ю.В. Севастьянова, Н.Н. Фетюкова, И.М. Невзорова.</i> О возможности использования древесины усыхающей ели для производства бисульфитной целлюлозы высокого выхода.....	133

Т.Н. Манахова, Я.В. Казаков. Расчет параметров феноменологической модели деформирования целлюлозного материала по результатам измерений на автоматическом анализаторе волокна..... 140

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

В.И. Онегин. Александр Васильевич Грачев (к 100-летию со дня рождения)..... 148



CONTENTS

V.V. Komarov. The International Year of Forests.....	9
<i>FORESTRY</i>	
S.N. Tarkhanov, S.Yu. Biryukov. Influence of Air Pollution on the Photosynthetic Apparatus of <i>Pinus sylvestris</i> L. and <i>Picea obovata</i> Ledeb. × <i>P. abies</i> (L.) Karst. in the Northern Taiga, Northern Dvina Basin.....	20
S.N. Drozdov, E.S. Kholoptseva, T.A. Sazonova. Light-Temperature Characteristics of <i>Betula pubescens</i> (Betulaceae) Seedlings.....	27
I.S. Konovalova, N.A. Babich, S.N. Marich. Phytocenotic Importance of Weed Plants in Forest Nurseries.....	37
S.M. Govorushko. Environmental Consequences of Logging.....	45
V.S. Vernodubenko, N.A. Druzhinin. Formation of Early and Late Pine Wood on Peat Soils.....	54
P.I. Nazmiev. The Structure of Dark Coniferous Forests of Zyuratkul National Park...	62
O.N. Tyukavina. Influence of Drainage on the Structure of Pine Annual Rings.....	72
<i>WOODEXPLOITATION</i>	
D.G. Myasishchev, D.E. Makoveev. Use of Small-Scale Mechanization to Remove Thinning Waste in Parks.....	81
A.B. Zhirnov, A.V. Baranov, N.A. Kostenko. Wood Harvesting Technology in Mountain Forests of the Far East.....	88
<i>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</i>	
I.T. Glebov, V.V. Glebov. Dependence of Cutting Forces on Planing Direction and Plywood Edge Width.....	93
A.E. Piir, V.I. Melekhov, V.B. Kuntysh. Choice of Wood Fuel for Small-Scale Power Generation.....	101
<i>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</i>	
N.G. Chistova. Experimental and Theoretical Modeling of Power Consumption in Fiberboard Production.....	109
N.V. Syssoeva, V.V. Kovalenko. The Effect of Glass Fiber Critical Length on the Quality of Paper-Like Filter Materials.....	118
A.I. Dernov, E.V. Dyakova, A.V. Guryev, N.V. Krasikova. Comprehensive Evaluation of Strength and Cohesiveness of Fibers as Elements of Cellulose Materials Structure.....	125
Yu.V. Sevastyanova, N.N. Fetyukova, I.M. Nevzorova. On the Possibility of Using Dying Spruce for Production of High Yield Bisulphite Pulp.....	133

T.N. Manakhova, Ya.V. Kazakov. Calculation of Phenomenological Model Parameters of Cellulose Material Deformation Based on the Data from Automated Analyzer..... 140

TO THE MEMORY OF SPECIALISTS

V.A. Oegin. Aleksandr Grachev (to the 100th birthday anniversary)..... 148

УДК 630*742

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД ЛЕСОВ

© *В.В. Комаров, канд. экон. наук, проф.*

Российский государственный аграрный заочный университет, ул. Ю. Фучика д. 1,
г. Балашиха, Московская область, 143900
E-mail: KOMAROVVV@LIST.RU

В статье анализируются проблемы совершенствования мирового лесного хозяйства, рассматриваются концепция ООН «Год леса-2011» и меры по сохранению и оптимизации использования лесов, защите экосистем и биоразнообразия. Очевидно, что без новой культуры выживания в формате «зеленой» экономики человечество обречено на катастрофу. Конференция ООН по устойчивому мировому развитию, прошедшая в Рио-де-Жанейро в 2012 г., уделила особое внимание комплексным мерам по устойчивому развитию сельского хозяйства и программам сохранения и реабилитации мировых лесов. Необходимо радикально изменить представление о неисчерпаемости ресурсов России и сформировать качественно новое ценностное и бережное отношение к ним.

Основным методом данного исследования является аналитико-статистический метод. Леса тесно связаны с источниками средств существования сотен миллионов людей на планете и способны помочь в решении проблемы изменения климата и новых экологических вызовов, а также в достижении целей развития тысячелетия, сформулированных ООН. Исследовательские работы в России и, как следствие, государственная политика в области лесных отношений должны быть направлены на то, чтобы лес – возобновляемый природный ресурс, приносил дополнительные доходы в федеральный и региональный бюджеты, укреплял экспортный потенциал страны, создавал новые рабочие места и служил эффективным источником здоровой экологии.

Ключевые слова: лесное хозяйство, Год леса-2011, ЮНЕП ООН, Рио-2012, лесные пожары, инвестиции, опыт Финляндии, глубокая переработка древесины.

Нет экологических вопросов, есть экономические ответы

В начале XXI в. мир сотрясают кризисы: климатический, биоразнообразия, водный, топливный, лесохозяйственный, продовольственный, финансовый и экономики в целом. Системный рост цен на топливо и связанный с ним рост цен на продовольствие и сырьевые товары указывают на структурные недостатки и риски, которые остаются неустраненными. Гипертрофированно растущий мировой объем промышленного и сельскохозяйственного производства и соответствующий ему спрос на ресурсы и полезные ископаемые предполагает дальнейшее сохранение зависимости от нефти, газа и других видов ископаемого топлива. Этот тренд современного развития называется «коричневая» экономика (brown economics). В последнее время в мировой экономике самые большие инвестиции вкладывались в добычу ископаемых видов топлива, недвижимость и финансовые активы со встроенными производными финансовыми инструментами. В тоже время сравнительно мало

средств было потрачено на развитие «зеленой» экономики (green economics), основанной на использовании возобновляемой энергетики, повышении энергоэффективности, массовом развитии системы общественного транспорта, создании оптимального и стабильного сельского хозяйства, защите экосистем и биоразнообразия, сохранении почвы, воды и лесов [4].

Большинство стратегий современного экономического развития и роста поощряло и поощряет быстрое накопление физического, финансового и человеческого капитала. Однако делается это за счет чрезмерного истощения природного капитала. Природные ресурсы и экосистемы были принесены в жертву современной ресурсозатратной загрязняющей коричневой экономике. Поскольку мировой запас невозобновляемых природных богатств необратимо истощается, коричневая модель развития и роста пагубно сказывается на благополучии нынешних поколений и создает огромные риски и проблемы для будущих жителей Земли. Современное технологическое развитие мировой экономики, основанное на использовании невозобновляемых полезных ископаемых и ресурсов, может лишь на время отложить уничтожение окружающей среды, но не может предотвратить экологического и социального коллапса цивилизации без фундаментальных изменений идеологии бесконечного материального роста и потребления. Многочисленные мировые кризисы XXI в. предельно показательны и характерны для этой модели развития мировой экономики [2].

По данным МАГАТЭ (IAEA – International Atomic Energy Agency – международная организация в системе ООН по развитию сотрудничества в области мирного использования атомной энергии), дефицит энергии в мире составляет сегодня около 40 %. Атомная энергетика после аварий в Чернобыле, Японии, США в экологическом плане во многом себя дискредитировала. Вследствие этого рост цен на нефть и газ в системе коричневой экономики неизбежен. Поэтому интенсивный поиск новых источников энергии в ближайшее время станет непреложной реальностью. Зеленая экономика сегодня уже располагает альтернативными источниками в виде использования солнечной, ветровой, приливной, геизерной и др. энергии. Однако этого явно недостаточно и процесс открытия новых экологически чистых энергетических возможностей ждет инновационного прорыва [3].

Существует альтернатива загрязняющей коричневой экономике, основанной на нефти и газе. Это экологически чистая зеленая экономика с опорой на возобновляемые ресурсы – направление в экономической науке и практике, постулирующее тот факт, что экономика является зависимым компонентом природной среды, в пределах которой она существует и служит ее частью. В условиях конечности невозобновляемых ресурсов интенсивно растущее их использование губительно для человеческой цивилизации. Зеленая экономика базируется на трех аксиомах: невозможно бесконечно расширять сферу влияния в ограниченном пространстве; невозможно требовать удовлетворения

бесконечно растущих потребностей в условиях ограниченности ресурсов; все на поверхности Земли является взаимосвязанным.

Зеленая экономика не только повышает благосостояние людей и максимально обеспечивает социальную справедливость, но и существенно снижает риски и обеднение для окружающей среды. В простом понимании зеленая экономика – это экономика с низкими выбросами углеродных соединений, эффективно использующая ресурсы и отвечающая интересам всего человечества. «Позеленение» экономики путем преобразования различных ее отраслей означает создание новых рабочих мест в таких отраслях, как возобновляемая энергетика, повторное использование материалов и ресурсов, переработка отходов, общественный транспорт, оптимальное сельское хозяйство, водоохрана, лесоводство [1].

Перед нашей цивилизацией сегодня стоят кардинальные технологические задачи, и от того, как они будут решаться в ближайшем будущем, зависит сама жизнь на Земле. Очевидно, что без новой культуры выживания в формате зеленой экономики человечество обречено на катастрофу. Проблема современного инновационного развития в России приобретает особый смысл не только в связи с катастрофической экологической ситуацией, ограниченностью и исчерпанием природных ресурсов, но и с традиционно низким уровнем ресурсного сбережения, которое характерно для наших отечественных технологий. Необходимо радикально изменить представление о неисчерпаемости ресурсов России и сформировать качественно новое ценностное и бережное отношение к ним. Очевидно, что ухудшаются не только условия жизнедеятельности нынешних поколений, но и будущих, ибо каждой новой возрастной группе приходится жить в условиях более агрессивной естественной среды, созданной загрязняющим и интенсивным развитием современной промышленности и сельского хозяйства.

Устойчивое мировое развитие

Даже духовные лидеры мировых конфессий озабочены экологическими проблемами сохранения Мира сотворенного. Всемирный саммит религиозных лидеров, состоявшийся в июле 2006 г. в Москве, обсуждал многие проблемы, в том числе нравственность в экономике, самоограничения в использовании ресурсов планеты, экологическую ответственность перед будущими поколениями [5].

Сохранить природу Земли и цивилизацию в ситуации, когда мировая коричневая экономика оказывает на них все более пагубное воздействие – наисовременнейшая задача человечества. Экономические потрясения 2008 г. и их последствия вызвали значительную социальную напряженность и развернули вспять процесс достижения устойчивого развития в мире, принципы которого были заложены на всемирном саммите ООН «Планета Земля» в Рио-де-Жанейро в 1992 г. Здесь впервые был предложен новый глобальный

общественный договор «Повестка дня XXI», основанный на положительном и позитивном тренде устойчивого прогресса.

В соответствии с Резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН (A/RES/64/236) было решено в июне 2012 г. организовать Конференцию ООН по устойчивому развитию «Рио-2012» в Бразилии. Эта конференция широко известна мировой общественности как «Рио+20», или «Rio20». Человечеству необходимо подтвердить приверженность социальному договору и обязательствам, принятым 20 лет тому назад, мобилизовать новое поколение мировых лидеров и осуществить новые прорывные социально-экономические идеи.

Цели конференции – обеспечение политической приверженности к устойчивому развитию, оценка достигнутого прогресса и неудач в осуществлении согласованных обязательств, предложение способов решения вновь возникших проблем. На конференции обсуждались две основные темы: «Зеленая экономика в контексте устойчивого развития и искоренения нищеты» и «Институциональные основы устойчивого развития». Наиболее интересными, с профессиональной точки зрения, являлись вопросы развития комплексных программ и мер в зеленом секторе экономики; реабилитация и устойчивое развитие сельского хозяйства; катастрофическое положение с сохранением и реабилитацией лесов.

В преддверии «Rio20» 2011 г. был объявлен ООН Международным годом лесов и посвящен глобальным проблемам мирового лесного хозяйства. Роль лесов для экологии Земли огромна, а цена вопроса в мировой экономике составляет десятки триллионов долларов. Во многих столицах мира ООН проведены мероприятия, конференции, брифинги, посвященные задачам сохранения и рационального использования лесов. Центр ООН в Москве в июне 2011 г. собрал крупнейших ученых и специалистов по проблемам лесов в России. С докладами и предложениями на встрече выступили: А.И. Писаренко – президент Российского общества лесоводов, участник Форума ООН по лесам; В.Я. Курамшин – директор Российского музея леса.

Директор Представительства ЮНЕП (UNEP, United Nations Environment Programme) в России В.В. Мошкало выразил позицию ООН по политике оптимизации мирового лесного хозяйства. Штаб-квартира ЮНЕП находится в столице Кении Найроби. Программа, созданная в рамках системы ООН, способствует координации охраны природы на общесистемном глобальном и региональном уровнях. Основной ее целью является организация и проведение мер, направленных на защиту и улучшение окружающей среды, на благо нынешнего и будущих поколений людей. Девиз программы – «Окружающая среда в интересах развития».

Леса тесно связаны с источниками средств существования сотен миллионов людей на планете и способны помочь в решении проблемы изменения климата и новых экологических вызовов, а также в достижении целей развития тысячелетия, сформулированных ООН. Леса занимают важное место в деятельности ЮНЕП. Авторы доклада ЮНЕП «Навстречу зеленой экономике:

пути к устойчивому развитию и искоренению бедности» рассчитали, как благодаря вложению 2 % мирового ВВП в десять ключевых секторов экономики, вкуче с оптимальными политическими решениями, можно стимулировать экономический рост, создание рабочих мест и при этом не выйти за допустимые экологические рамки.

Ежегодное инвестирование в развитие лесного хозяйства мира в размере 0,03 % ВВП, или 13 млрд долл., в 2011 – 2050 гг. может повысить добавленную стоимость в лесной отрасли более чем на 20 %. Эти инвестиции будут способствовать и более широкому использованию проверенных и испытанных рыночных механизмов, начиная от программы производства сертифицированной древесины и кончая платежами за экосистемные услуги. Переход к зеленой экономике в 2020 г. увеличил бы площадь лесов, в настоящее время составляющую около 4 млрд га, более чем на 3 %, к 2030 г. – на 8 %, в 2050 г. – на 20 % по сравнению со сценарием обычного развития экономики.

Лесное хозяйство России

В современном мире на первый план выступает значение леса как важнейшего компонента биосферы. Чистота воды и воздуха, плодородие почв, сохранение биологического разнообразия, изменение климата во многом зависят от состояния лесного покрова. По мнению главы оргкомитета по проведению Международного года лесов в России, первого заместителя Председателя Правительства РФ В.А. Зубкова, «... государственная политика в области лесных отношений должна быть направлена на то, чтобы лес – как возобновляемый природный ресурс – приносил дополнительные доходы в федеральный и региональный бюджеты, укреплял экспортный потенциал страны, создавал новые рабочие места». В.А. Зубков особо выделил проблему борьбы с лесными пожарами в России: «Правительством предприняты все необходимые меры для полномасштабного исполнения регионами переданных им полномочий по обеспечению предупреждения, профилактики и тушения лесных пожаров. Теперь дело за регионами. От того, насколько эффективно будет идти работа на местах, зависит наш общий успех в борьбе с лесными пожарами» [6].

В связи со сложным положением, вызванным жарой, засухой и беспрецедентными лесными пожарами летом 2010 г. в России, было принято решение о реформировании управления лесным хозяйством. Постановлением Правительства РФ № 736 от 23 сентября 2010 г. утверждено Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз), относящееся к федеральным органам исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию, по контролю и надзору и по управлению государственным имуществом в области лесных отношений.

Для предотвращения возможности возникновения лесных пожаров в 2011 г. проводятся комплексные профилактические работы на всей территории России, особенно активно по обводнению торфяников в Московской об-

ласти. Планировалось обводнить 22 тыс. га. Приняты все необходимые правовые, финансовые и организационные решения для эффективной работы. В рамках реализации сетевого графика выполнения работ по обводнению торфяников Рослесхозом передано в пользование правительству Московской области 68 лесных участков общей площадью 17 тыс. га для строительства гидротехнических противопожарных сооружений. Управление по Москве и Московской области Рослесхоза ведет системный мониторинг состояния торфяников. В потенциально опасных местах сконцентрирована специализированная лесопожарная техника. Для этих целей из средств федерального бюджета дополнительно было выделено 300 млн р. К проведению мероприятий по профилактике и борьбе с лесными пожарами активно привлекались представители общественных организаций.

В целях эффективного использования лесного потенциала Россия переходит от экспорта круглого леса к его глубокой переработке, что экономически значительно выгоднее в плане прибыльности бизнеса и создания новых рабочих мест в национальной экономике. В 2010 г. в стране были осуществлены 8 крупных инвестиционных проектов по глубокой переработке древесины с объемом инвестиций 36 млрд р., что привело к созданию более 3 тыс. новых рабочих мест. Всего планируется к реализации 95 экономических проектов в лесной отрасли с объемом инвестиций свыше 415 млрд р. Эти проекты позволят создать около 40 тыс. новых рабочих мест.

В настоящее время в целлюлозно-бумажной промышленности реализуется 12 приоритетных инвестиционных проектов с общим объемом инвестиций свыше 260 млрд р. Крупнейший из них – проект по развитию Богучанского лесопромышленного комплекса в Красноярском крае. На него приходится 73 млрд р. инвестиций. Проект уникален как с точки зрения экологических и строительных решений, так и ассортимента продукции, которую он будет выпускать, и является достойным примером решения задач по глубокой переработке древесины, производству продукции с высокой добавленной стоимостью и сохранению окружающей среды.

Важнейшая проблема по борьбе с незаконными рубками лесов в России – система учета заготовленной древесины. Рослесхозом подготовлена концепция государственной системы контроля законности происхождения и реализации круглых лесоматериалов. Основой системы контроля служит информационная база данных о состоянии и использовании лесных ресурсов. В 2011 г. в Архангельской области и Республике Карелия проводился эксперимент, в рамках которого отрабатывались методы учета древесины и контроль ее происхождения. Информационная система должна обеспечивать обмен данными с такими заинтересованными органами исполнительной власти, как ФТС, ФНС и МВД России, решать вопросы организации межведомственного взаимодействия и контроля законности древесины на этапах заготовки, транспортировки, переработки и экспорта лесоматериалов. Концептуально система учитывает требования Евросоюза по подтверждению легальности использования

лесоматериалов и исключения импорта древесины неизвестного происхождения. Внедрение в России государственной системы контроля законности происхождения и реализации круглых лесоматериалов можно рассматривать как меру, направленную на сохранение и развитие экспорта продукции из древесины. После апробации система контроля законности происхождения древесины должна быть внедрена во всех субъектах РФ.

Российский музей леса

К Международному году лесов Российский музей леса подготовил выставку, освещающую важные страницы истории лесного хозяйства России, связанные с именами выдающихся лесоводов В.Е. Граффа, Ф.К. Арнольда, Н.В. Шелгунова, П.Д. Киселева, основоположника учения о лесе Г.Ф. Морозова. Большая экспозиция посвящена Корпусу российских лесничих. В 1839 г. было высочайше утверждено Положение, согласно которому «... все чины ведомства Государственных имуществ – чины губернского лесного управления и учебных лесных заведений, равно постоянная лесная стража соединены в один состав под названием Корпус лесничих». На основании Положения о Корпусе лесничих лесное ведомство получило военное устройство. При подготовке решения по новому устройству государственных имуществ было учтено мнение П.Д. Киселева, который по результатам командировок во многие губернии России сообщал: «Леса казенные и, особенно, поселянские большею частью истреблены как по злоупотреблениям лесных чиновников, так и по неведению правильного лесоводства и по недостатку лесной стражи. Часть сия, в нынешнем ее состоянии, требует безотлагательных и строгих мер к охранению оставшихся лесов от совершенного истребления» [7].

Выставка знакомит с системой государственного управления лесами РФ и приоритетными направлениями лесной политики. Большое внимание уделено работе информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Рослесхоза, основным направлениям развития системы информационных Web-серверов Авиалесоохраны и противопожарной профилактики.

С государственной инвентаризацией лесов знакомят стенды ФГУП «Рослесинфорг». Главная цель проведения инвентаризации – оценка эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизводству и использованию лесов. Дистанционный мониторинг использования лесов обеспечивает своевременное выявление и прогнозирование развития процессов, оказывающих негативное воздействие на леса, а также современное инструментальное управление в области государственного лесного контроля и надзора.

Особое внимание уделено лесному семеноводству. Основными направлениями деятельности ФГУ «Рослесозащита» в части лесного семеноводства являются: организация и координация работ по созданию объектов единого генетико-селекционного комплекса; формирование федерального фонда лесных семян; семенной контроль; генетическая паспортизация лесосеменных плантаций.

Инновациями и технологиями в лесном хозяйстве занимается ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства». Сегодня крайне важны технологии повышения устойчивости и реабилитации лесов, нарушенных антропогенным воздействием. Разработанные технологии обеспечивают: решение проблем переработки утилизации осадков бытовых и промышленных сточных вод; повышение плодородия техногенно-нарушенных лесных почв; совершенствование лесорастительных условий; улучшение эстетического вида местности путем ландшафтного дизайна.

Инновации лесопромышленного комплекса Финляндии

Наш ближайший сосед – Финляндия давно и эффективно занимается своим лесным хозяйством, инновационным подходом к развитию промышленности переработки лесоматериалов и сбыта готовой продукции. Лесопромышленный комплекс Финляндии, один из современных в мире, достаточно успешно преодолевает затянувшийся кризис в отрасли посредством массовых и системных вложений в НИОКР для новых перспективных товаров, продуктов и технологий. 40 млрд долл. прибыли, 200 тыс. занятых, 20 % ВВП и экспортных поступлений – таковы параметры лесного кластера Финляндии. Лесопромышленники интенсивно генерируют новые продукты и отраслевые технологические процессы и стандарты. По этой причине передовой опыт этой страны крайне интересен с точки зрения изучения и адаптации в лесопромышленном комплексе России.

Ведущую роль в лесном кластере Финляндии играют три холдинговые структуры: «Metsaliito», «UPM-Kymmene» и «Stora Enso», занимающиеся производством изделий из дерева, упаковкой и бумагой – главной товарной позицией. Рубеж десятилетий стал для отрасли переломным периодом. В ходе финансового кризиса 2008 г. обороты отрасли беспрецедентно сократились. Из-за кризиса в строительном секторе США резко упал спрос на финские пиломатериалы, затем дошел черед и до бумаги. В Европе рынок бумаги обвалился в 2009 г., и нет признаков, что он полностью восстановится в обозримое время. Промышленники не без оснований полагают, что экономические трудности лишь обнажили глубинную тенденцию – катастрофическое вытеснение бумаги с мирового рынка электронными средствами массовой информации. В этой связи для создания своего стабильного будущего в новых посткризисных условиях они интенсивно рассматривают и развивают три взаимосвязанные темы: инновации, зеленая экономика, новые продукты.

Еще в 2006 г. была разработана и одобрена национальная стратегия развития лесного сектора Финляндии. Цель – удвоение оборотов лесной индустрии к 2030 г. Половина производства должна обеспечиваться за счет новых продуктов. Стратегия содержит четыре базовых сценария, но во всех случаях в качестве основного инструмента достижения целей предлагаются различные направления инновационной активности.

Территориально Финляндия невелика. Множество местных производителей давно и тесно интегрированы друг с другом и смежниками. Отличительная черта этого кластера – тесная взаимосвязь национальных игроков в создании и педалировании глобальных конкурентных преимуществ страны, таких как совместное финансирование НИОКР и новых прорывных технологий. На инновации в стране расходуется более 200 млн евро в год. Совместно с национальными научными и образовательными учреждениями, технологическими и лесными университетами частные компании созданы две научные организации, которые заняты разработкой и выполнением исследовательских программ для лесного комплекса по производству новых изделий из древесины. В 2010 г. на базе вузов Хельсинки был создан Национальный университет «Аальто» со специальным (лесным) курсом обучения.

Наиболее важной темой для традиционной лесной промышленности Финляндии является разработка новых продуктов, предназначенных для строительной индустрии. Сегодня развитие этого направления связано с производством композитных материалов, которые вытесняют обычные бревна и древесный массив либо благодаря своей дешевизне, либо из-за лучших показателей механических и биохимических свойств. Одно из перспективных направлений для получения деревянных композитов с особыми свойствами – работа с наноцеллюлозой. Это технология микроуровней, меняющая свойства мельчайших частиц древесины и позволяющая создавать более прочные, тонкие и устойчивые к воздействию влаги изделия. На целлюлозно-бумажном комбинате «Stora Enso» в Иматре в конце 2011 г. началось строительство первого экспериментального производства по выпуску наноцеллюлозы. Композитный материал на основе фанеры, стекло- и углеродного волокна используется для производства лопастей ветряных электрогенераторов и обеспечивает наилучшие результаты по сравнению с традиционными материалами. Значительными преимуществами обладают новые современные утеплители, производимые из вторматериалов (пластиковых отходов и макулатуры).

Очевидно, что обладая одним из самых современных лесопромышленных комплексов в мире, Финляндия уже сегодня, заблаговременно и системно, создает конкурентоспособное будущее для своей зеленой экономики XXI в. Российскому лесопромышленному комплексу есть что изучить, перенять, а может быть, в чем-то и опередить своих финских коллег в борьбе за экологическую безопасность лесопромышленного сектора России и конкурентоспособность своей инновационной продукции на мировом рынке.

В России продолжается интенсивная работа по всем приоритетным направлениям лесной политики в целях сохранения и оптимального использования лесных богатств. Сегодня страна делает важные шаги в сторону модернизации своего лесного хозяйства. Важнейшая из экономических целей – повышение конкурентоспособности российского лесного продукта на международном рынке. Развитие лесной отрасли становится одним из приоритетов государственной экономики. В лесном хозяйстве России, несмотря на пост-

кризисные явления, сохраняется высокий уровень инвестиций, строятся новые предприятия глубокой переработки древесины, создаются дополнительные рабочие места, совершенствуется система управления лесами. В международном плане продолжается активное развитие двусторонних отношений, а также многостороннее сотрудничество и укрепление региональных партнерских отношений по широкому кругу вопросов лесного хозяйства со странами СНГ, Евросоюза, Северной Америки и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Леса – национальное достояние России, которое должно быть сохранено, преумножено и эффективно использовано для улучшения экологии страны и роста благосостояния народа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всемирный день окружающей среды: материалы Центра ООН в Москве. 03.06.2011.
2. *Комаров В.В.* Мировая экономика. Инвестиции и сельское хозяйство: учеб. пособие. М.: РГАЗУ, 2010. 100 с.
3. *Комаров В.В.* Сельское хозяйство и транснациональные корпорации // Экономика образования. 2010. № 2.
4. *Комаров В.В.* Тренд мировой экономики. Инвестиции и транснациональные корпорации. Германия: Изд-во «LAP Lambert Academic Publishing», 2011. 208 с.
5. Материалы Всемирного саммита религиозных лидеров, Москва 3–5 июля 2006 г.
6. Материалы официального сайта Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз). Режим доступа: <http://rosleshoz.gov.ru>
7. Пресс-релиз ФГУ «Российский музей леса» Федерального агентства лесного хозяйства, посвященный Международному году лесов-2011.

Поступила 27.06.11

The International Year of Forests

V.V. Komarov, Candidate of Economics, Professor

Russian Agrarian Correspondence University, Yuliusa Fuchika, 1, 143900, Balashikha, Moscow Region, Russia
E-mail: KOMAROVVV@LIST.RU

The article analyses the problems of improving world forestry, discusses the UN concept of the “Year of Forests 2011” and dwells on the measures for conservation and optimization of the use of forests, protection of ecosystems and biodiversity. It is obvious that without a new culture of survival in the format of green economy, the humanity is doomed to disaster. The UN Conference on Sustainable Development, which was held in Rio de Janeiro in 2012, paid special attention to the development of comprehensive measures for sustainable development of agriculture and programmes for conservation and rehabilitation of the world’s forests. We need to make people realize that Russia’s resources are exhaustible and establish qualitatively new values and a careful attitude to them. The key method of this study is the analytical and statistical one. Forests are closely linked with livelihoods of

hundreds of millions of people on the planet and are able to help in solving the problem of climate change and new environmental challenges, as well as in achieving the Millennium Development Goals set by the UN. Research work in Russia and, as a consequence, state policy in the sphere of forest relations shall be aimed at making forests – a renewable natural resource – bring additional revenue to the federal and regional budgets, strengthen the export potential of the country, create new jobs and provide healthy environment.

Keywords: forestry, Year of Forests 2011, UNEP, Rio+20, forest fires, investment, experience of Finland, deep processing of wood.

REFERENCES

1. World Environment Day: Materials of the UN Information Centre in Moscow – (accessed 3 June 2011) (in Russian).
 2. Komarov V.V. *Mirovaya ekonomika. Investitsii i sel'skoe khozyaystvo* [World Economy. Investments and Agriculture]. Moscow, 2010. 100 p.
 3. Komarov V.V. Sel'skoe khozyaystvo i transnatsional'nye korporatsii [Agriculture and Transnational Corporations]. *Ekonomika obrazovaniya*, 2010, no. 2.
 4. Komarov V.V. Trend in the global Economy. Investment and Transnational Corporations. Germany, 2011, 208 p.
 5. Materials of the World Summit of Religions Leaders. Moscow, 3–5 July 2006.
 6. Official website of the Federal Forestry Agency. Available at: <http://rosleshoz.gov.ru>.
 7. Press release of Russian Forest Museum of the Federal Forestry Agency on the International Year of Forests – 2011 (in Russian).
-



УДК 582.475:581.1:504.5

**ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
НА ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИЙ АППАРАТ *PINUS SYLVESTRIS L.*
И *PICEA OBOVATA LEDEB.* × *P. ABIES (L.) KARST.*
В СЕВЕРНОЙ ТАЙГЕ БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ**

© *С.Н. Тарханов, д-р биол. наук*
С.Ю. Бирюков, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, наб. Северной Двины, 23,
г. Архангельск, Россия, 163000
E-mail: tarkse@yandex.ru

В ельниках черничных свежих северной тайги бассейна Северной Двины при атмосферном загрязнении наблюдается увеличение содержания в однолетней хвое подроста и древостоя ели фотосинтетических пигментов, особенно хлорофилла. Выявлена обратная зависимость содержания пигментов в однолетней хвое подроста ели от расстояния до источника эмиссии. В сосняках черничных свежих и, особенно, сфагновых с приближением к источнику эмиссий (Архангельская ТЭЦ, Архангельский ЦБК) интенсивность фотосинтеза, содержание хлорофиллов и каротиноидов в однолетней хвое древостоя сосны существенно снижаются.

Ключевые слова: атмосферное загрязнение, сосна, ель, хвоя, фотосинтез, фотосинтетические пигменты.

В низовье бассейна Северной Двины аэротехногенное воздействие на леса на протяжении 40...60 лет определяется главным образом выбросами кислотообразующих соединений серы от целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Среди выбросов Архангельского и Соломбальского ЦБК преобладают неорганическая пыль (31,5 тыс. т/год) и диоксид серы (более 11,0 тыс. т/год). Основной объем выбросов Архангельской ТЭЦ приходится на долю диоксида серы (около 23,0 тыс. т/год). Это обуславливает специфику качественного состава атмосферных эмиссий, в частности увеличение доли содержания высокотоксичных для растений сернистых соединений. Особенности загрязнения определяют ответные реакции растений.

Обширная литература освещает негативное действие диоксида серы на фотосинтетический аппарат листьев, дыхательный процесс, ферментативную активность, азотный метаболизм, клеточную энергетику и другие компоненты физиолого-биохимического статуса растений [5, 10, 11, 17–20].

Интенсивность фотосинтеза и концентрация фотосинтетических пигментов однолетней хвой сосны и ели в период вегетации

Тип леса	Анализируемая порода, элемент леса	Расстояние до источника выбросов, км	Фотосинтез, мг CO ₂ /(г сух. массы·ч)	Фотосинтетические пигменты, мг/г свежей массы				Всего пигментов
				Хлорофилл а	Хлорофилл b	Сумма a + b	Каротиноиды	
Архангельская ТЭЦ								
Е-черн. св.	Е*, древостой	11	19,1±1,0	0,743±0,014	0,331±0,012	1,074±0,019	0,147±0,004	1,221±0,020
		80	19,9±1,9	0,734±0,007	0,312±0,008	1,046±0,011	0,129±0,002	1,176±0,022
С-сф.	С*, древостой	7	18,3±0,7	0,640±0,011	0,232±0,004	0,872±0,013	0,165±0,002	1,037±0,011
		12	24,4±1,2	0,813±0,010	0,291±0,005	1,104±0,013	0,176±0,002	1,280±0,017
Архангельский ЦБК								
С-черн. св.	С**, древостой	5	29,3±0,6	0,870±0,003	0,334±0,01	1,204±0,003	0,187±0,002	1,391±0,004
		20	34,4±1,2	0,937±0,004	0,352±0,002	1,289±0,005	0,199±0,003	1,488±0,003
С-черн. св.	Е***, подрост	4	-	0,616±0,027	0,314±0,023	0,920±0,044	0,161±0,008	1,082±0,049
		7	-	0,667±0,016	0,199±0,016	0,865±0,028	0,206±0,005	1,072±0,030
		13	-	0,678±0,018	0,187±0,006	0,875±0,024	0,209±0,007	1,083±0,030
		20	-	0,538±0,015	0,171±0,009	0,709±0,026	0,172±0,005	0,881±0,025

* I декада июля 1996 г., ** I декада июля 1997 г., *** I декада июля 1998 г.

Исследования проводили в ельниках и сосняках черничных свежих на подзолистых почвах, а также в сосняках сфагновых на болотных верховых почвах. Для определения физиолого-биохимических показателей сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea obovata* Ledeb. × *P. Abies* (L.) Karst.) закладывали пробные площади (ПП) в однотипных хвойных насаждениях на различных расстояниях от источника выбросов в соответствии с направлением господствующих в вегетационный период ветров в исследуемом регионе. Скорость потенциального фотосинтеза определяли радиометрическим методом [3] по количеству поглощенной листом ¹⁴CO₂ при максимальной для фотосинтеза освещенности в данной местности (35...60 тыс. лк) на 5 модельных деревьях древостоев сосны и ели (повторность 4–6-кратная), содержание фотосинтетических пигментов однолетней хвой – спектрофотометрическим методом на 5–10 особях древостоя и подроста [12, 15].

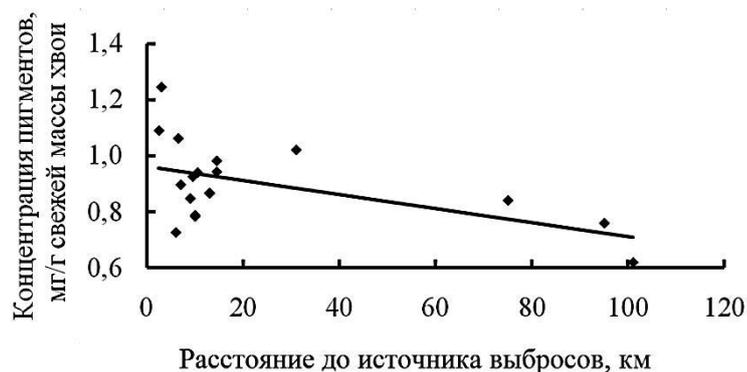
Установлено, что при хроническом воздействии невысоких концентраций загрязняющих веществ в естественных условиях происходит увеличение активации синтеза и повышение накопления пигментов [4, 9]. Влияние высоких доз поллютантов вследствие промышленных выбросов приводит к деградации фотосинтетических пигментов [7, 11, 14, 16] и снижению интенсивности фотосинтеза [2, 6, 11]. Согласно нашим данным (см. таблицу), можно отметить несущественные различия ($t < t_{0,05}$) интенсивности фотосинтеза одно-

летней хвои деревьев в древостое ели при атмосферном загрязнении и в фоновых условиях произрастания ельников черничных свежих. При этом стимулируется синтез зеленых пигментов, что приводит к увеличению общего содержания пигментов в хлоропластах. Интенсивность фотосинтеза деревьев в древостое сосняков как черничных, так и сфагновых, произрастающих на расстоянии 5...7 км от источников выбросов (Архангельская ТЭЦ, Архангельский ЦБК), существенно снижается ($p < 0,05$).

Известно, что интенсивность фотосинтеза зависит от погодных условий. В вегетационный сезон 1998 г., отличающийся большим количеством выпавших осадков, в насаждениях черничного типа у сосны потери фотосинтеза на расстоянии 5 км от источника эмиссии несколько уменьшились (до 8...9 %) по сравнению с засушливым летним сезоном 1997 г. (14...15 %). Ранее установлено [8], что у сосны в сосняках черничного типа на расстоянии 5 км от Архангельского ЦБК скорость фотосинтеза в пересчете на весь побег по сравнению с сосной на удалении 20 км от ЦБК снижалась в 2 раза, в пересчете на сухую массу хвои – на 15 %. Это согласуется с более ранними данными [1, 2]. Различия между этими участками в скорости фотосинтеза в пересчете на хлорофилл незначительны [13].

Нами выявлена обратная зависимость содержания пигментов хлоропластов в однолетней хвое подроста ели (июль 1999 г.) от расстояния до источника выбросов в насаждениях черничного типа ($p < 0,05$, $r = -0,53$) (см. рисунок).

Это в определенной степени свидетельствует о стимуляции пигментобразования ели при умеренном загрязнении атмосферного воздуха (более 2,5...3,0 км от ТЭЦ, ЦБК) в насаждениях черничного типа. Как показали результаты однофакторного дисперсионного анализа, вклад рассматриваемого фактора в общее варьирование пигментного фонда подроста ели в лесорастительных условиях черничного типа достоверен при критических значениях критерия Фишера F ($p < 0,05$).



Зависимость концентрации пигментов хлоропластов хвои подроста ели от расстояния до источника выбросов в насаждениях черничного типа

В то же время наблюдается существенное снижение (при критических значениях t) содержания хлорофиллов и каротиноидов в однолетней хвое сосны в сосняках черничных свежих и, особенно, сфагновых с приближением к источнику эмиссий (см. таблицу).

Таким образом, в хвойных насаждениях черничного типа у древостоя и подроста ели на подзолистых почвах северной тайги при атмосферном загрязнении наблюдается стимулирование процессов пигментообразования, особенно дополнительного синтеза хлорофилла хвои. Сосна, преимущественно в древостое сфагновых сосняков на болотных верховых торфяных почвах, испытывающая острый дефицит кислорода и элементов питания, более чувствительна к аэротехногенному воздействию. В данных условиях, вблизи источников выбросов, могут развиваться процессы деструкции ее пигментного комплекса и снижается интенсивность фотосинтеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов А.В., Шевнин Ю.А. Оценка степени поражения фотосинтеза сосны обыкновенной аэротехногенными выбросами // Экология. 1998. № 4. С. 89–91.
2. Влияние длительности воздействия токсичных поллютантов на состояние устьиц и фотосинтез хвои *Pinus sylvestris* L. / Л.К. Кайбияйнен, П. Харри, Г.И. Софронова, В.К. Болондинский // Физиология растений. 1995. Т. 42, № 5. С. 751–757.
3. Вознесенский В.Л., Заленский О.А., Семихатова О.А. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений М.; Л.: Наука, 1965. 305 с.
4. Гирс Г.И. Физиология ослабленного дерева. Новосибирск: Наука, 1982. 255 с.
5. Загрязнение воздуха и жизнь растений / Под ред. М. Трешоу. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 535 с.
6. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. К.: Наук. думка, 1978. 246 с.
7. Киртичникова Т.В., Шавнин С.А., Кривошеева А.А. Состояние фотосинтетического аппарата хвои сосны и ели в зонах промышленного загрязнения при различных микроклиматических условиях // Физиология растений. 1995. Т. 42, № 1. С. 107–113.
8. Коновалов В.Н., Тарханов С.Н., Костина Е.Г. Состояние ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях аэрального загрязнения // Лесоведение. 2001. № 6. С. 43–46.
9. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. К.: Наук. думка, 1996. 238 с.
10. Морфофизиологическая реакция *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. при техногенном воздействии в условиях Северо-Запада России / В.Б. Придача, Т.А. Сазонова, Т.Ю. Таланова, А.В. Ольчев // Экология. 2011. № 1. С. 25–33.
11. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 278 с.
12. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнаухов, Л.А. Паничкин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
13. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения. Диагностика состояния. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 333 с.

14. Тужилкина В.В., Ладанова Н.В., Плюсина С.Н. Влияние техногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат сосны // Экология. 1998. № 2. С. 89–93.
15. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биологические методы в физиологии растений. М., 1971. С. 154–170.
16. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO₂ – fumigated leaves of spinach / K. Shimazaki, T. Sakaki, N. Kondo, K. Sugahara // Plant & Cell Physiology. 1980. Vol. 21, N 7. P. 1193–1204.
17. Manninen S., Huttunen S. Needle and lichen sulfur analyses on two industrial gradients // Water, Air and Soil Pollution. 1991. Vol. 59. P. 153–163.
18. Smith W.H. Air pollution and forest: Interactions between air contaminants and forest ecosystems. New York etc., 1981. 379 p.
19. Stefan K. Abgrenzung des Einflussbereiches verschiedener Immissionsquellen mit Hilfe von Luft und Nadelanalysen auf dem Hauselberg bei Leolen // Mitt. Forstl. Bundesversuchs Anst. Wien. 1980. N 131. S. 79–81.
20. Wulff A., Karenlampi L. Effects of long-term open-air exposure to fluoride, nitrogen compounds and SO₂ on visible symptoms, pollutant accumulation and ultrastructure of Scots pine and Norway spruce seedlings // Trees. 1996. Vol. 10. P. 157–171.

Поступила 22.03.12

Influence of Air Pollution on the Photosynthetic Apparatus of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) Karst. in the Northern Taiga, Northern Dvina Basin

S.N. Tarkhanov, Candidate of Agriculture

S.Yu. Biryukov, Candidate of Biology, Senior Researcher

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, 163000, Arkhangelsk, Russia
E-mail: tarkse@yandex.ru

Under conditions of air pollution in fresh blueberry spruce forests, we detected increased content of photosynthetic pigments, especially chlorophyll, in annual needles of spruce undergrowth and trees. Further, we observed an inverse relationship between the pigment content in annual spruce needles and the distance from the emission source in blueberry stands. The rate of photosynthesis as well as chlorophyll and carotenoid content in annual pine needles in fresh blueberry forests, especially the sphagnum ones, were significantly reduced the closer they were to the source of emissions (Arkhangelsk Heat Station, Arkhangelsk Pulp and Paper Mill).

Keywords: air pollution, pine, spruce, needles, photosynthesis, photosynthetic pigments.

REFERENCES

1. Bazhenov A.V., Shevnin Yu.A. Otsenka stepeni porazheniya fotosinteza sosny obyknovennoy aerotekhnogennymi vybrosami [Assessment of the Damage to Pine Photosynthesis Caused by Airborne Industrial Emissions]. *Ekologiya*, 1998, no. 4, pp. 89–91.
2. Kaybiyaynen L.K., Kharri P., Sofronova G.I., Bolondinskiy V.K. Vliyanie dlitel'nosti vozdeystviya toksichnykh pollyutantov na sostoyanie ust'its i fotosintez khvoi *Pinus sylvestris* L. [Effect of the Length of Exposure to Toxic Pollutants on the State of Stomata and Needle Photosynthesis in *Pinus sylvestris* L.]. *Fiziologiya rasteniy*, 1995, vol. 42, no. 5, pp. 751–757.
3. Voznesenskiy V.L., Zalenskiy O.A., Semikhatova O.A. *Metody issledovaniya fotosinteza i dykhaniya rasteniy* [Methods of Studying Plant Photosynthesis and Respiration]. Moscow, Leningrad, 1965. 305 p.
4. Girs G.I. *Fiziologiya oslablenogo dereva* [Weakened Tree Physiology]. Novosibirsk, 1982. 255 p.
5. *Zagryaznenie vozdukha i zhizn' rasteniy* [Air Pollution and Plant Life]. Ed. by M. Treshou. Leningrad, 1988. 535 p.
6. Il'kun G.M. *Zagryazniteli atmosfery i rasteniya* [Atmospheric Pollutants and Plants]. Kiev, 1978. 246 p.
7. Kirpichnikova T.V., Shavnin S.A., Krivosheeva A.A. Sostoyanie fotosinteticheskogo apparata khvoi sosny i eli v zonakh promyshlennogo zagryazneniya pri razlichnykh mikroklimaticeskikh usloviyakh [Photosynthetic Apparatus in the Needles of Pine and Spruce Grown in Areas of Industrial Pollution Under Different Microclimatic Conditions]. *Fiziologiya rasteniy*, 1995, vol. 42, no. 1, pp. 107–113.
8. Konovalov V.N., Tarkhanov S.N., Kostina E.G. Sostoyanie assimilyatsionnogo apparata sosny obyknovennoy v usloviyakh aeral'nogo zagryazneniya [State of Assimilation Apparatus of Scots Pine in the Air Pollution]. *Lesovedenie*, 2001, no. 6, pp. 43–46.
9. Korshikov I.I. *Adaptatsiya rasteniy k usloviyam tekhnogenno zagryaznennoy sredy* [Plant Adaptation to Anthropogenic Pollution of the Environment]. Kiev, 1996. 238 p.
10. Pridacha V.B., Sazonova T.A., Talanova T.Yu., Ol'chev A.V. Morfofiziologicheskaya reaktsiya *Pinus sylvestris* L. i *Picea obovata* Ledeb. pri tekhnogenom vozdeystvii v usloviyakh Severo-Zapada Rossii [Morphophysiological Responses of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. to Industrial Pollution Under Conditions of Northwestern Russia]. *Ekologiya*, 2011, no. 1, pp. 25–33.
11. Nikolaevskiy V.S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological Basis of Gas Resistance in Plants]. Novosibirsk, 1979. 278 p.
12. Tret'yakov N.N., Karnaukhov T.V., Panichkin L.A., et al. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Practical Works on Plant Physiology]. Moscow, 1990. 271 p.
13. Tarkhanov S.N., Prozherina N.A., Konovalov V.N. *Lesnye ekosistemy basseyna Severnoy Dviny v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya. Diagnostika sostoyaniya* [Forest Ecosystems of the Northern Dvina Basin in Atmospheric Pollution. Analysis of the State]. Yekaterinburg, 2004. 333 p.
14. Tuzhilkina V.V., Ladanova N.V., Plyusnina S.N. Vliyanie tekhnogenno zagryazneniya na fotosinteticheskiy apparat sosny [Effect of Industrial Pollution on the Photosynthetic Apparatus of Pine]. *Ekologiya*, 1998, no. 2, pp. 89–93.

15. Shlyk A.A. Opredelenie khlorofillov i karotinoidov v ekstraktakh zelenykh list'ev [Determination of Chlorophylls and Carotenoids in Extracts of Green Leaves]. *Biologicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biological Methods in Plant Physiology]. Moscow, 1971, pp. 154–170.
 16. Shimazaki K., Sakaki T., Kondo N., Sugahara K. Active Oxygen Participation in Chlorophyll Destruction and Lipid Peroxidation in SO₂ – Fumigated Leaves of Spinach. *Plant & Cell Physiology*, 1980, vol. 21, no. 7, pp. 1193–1204.
 17. Manninen S., Huttunen S. Needle and Lichen Sulfur Analyses on Two Industrial Gradients. *Water, Air and Soil Pollution*, 1991, vol. 59, pp. 153–163.
 18. Smith W.H. *Air Pollution and Forest: Interactions Between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. New York, 1981. 379 p.
 19. Stefan K. Abgrenzung des Einflussbereiches verschiedener Immissionsquellen mit Hilfe von Luft und Nadelanalysen auf dem Hauselberg bei Leolen. *Mitt. Forstl. Bundesversuchs Anst. Wien*, 1980, no. 131, pp. 79–81.
 20. Wulff A., Karenlampi L. Effects of Long-Term Open-Air Exposure to Fluoride, Nitrogen Compounds and SO₂ on Visible Symptoms, Pollutant Accumulation and Ultrastructure of Scots Pine and Norway Spruce Seedlings. *Trees*, 1996, vol. 10, pp. 157–171.
-
-

УДК [58.036:581.08.132]:582.739

**СВЕТО-ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЯНЦЕВ
БЕРЕЗЫ ПУШИСТОЙ *BETULA PUBESCENS* (BETULACEAE)***

© *С.Н. Дроздов, д-р биол. наук, проф.*
Е.С. Холопцева, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук,
ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185610
E-mail: holoptseva@krc.karelia.ru

Т.А. Сазонова, д-р биол. наук, вед. науч. сотр.

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,
ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185610
E-mail: alt86@ Rambler.ru

Представители рода *Betula* являются одной из основных лесообразующих пород в РФ и занимают более половины всей площади, находящейся под листовыми древесными породами. В связи с тем, что береза дает высококачественное сырье для разных отраслей народного хозяйства, в первой половине XX в. началось целенаправленное изучение биологии ее развития. В настоящее время еще недостаточно исследованы вопросы экологии ее выращивания.

Поэтому в регулируемых условиях среды с помощью планируемого многофакторного эксперимента при трех уровнях температуры почвы (15, 20, и 25 °C) нами изучена свето-температурная характеристика двухлетних сеянцев березы пушистой. Показано, что экофизиологическая характеристика интактных растений зависит от всех исследуемых факторов внешней среды. Наибольшего потенциального максимума нетто-фотосинтеза сеянцы березы пушистой достигают при температуре почвы 15 °C, воздуха 26,3 °C и освещенности 57,3 клк и имеют широкий диапазон температурного (20,0...32,5 °C) и светового (41,3...73,2 клк) оптимума, обеспечивающего 90 %-й уровень нетто-фотосинтеза. Повышение температуры почвы до 20 °C и выше ведет к снижению потенциального уровня видимого фотосинтеза и сужению свето-температурного оптимума при естественном содержании в воздухе CO₂. С повышением температуры воздуха сеянцы березы достигают максимума нетто-фотосинтеза при более высокой освещенности.

Ключевые слова: *Betula pubescens* Ehrh., многофакторный планируемый эксперимент, CO₂-обмен, свето-температурная характеристика.

В послеледниковый период в процессе развития растительного покрова широкое распространение получили березовые формации. К настоящему вре-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-04-00827_а).

мени представители рода березы занимают обширный ареал в умеренных и арктических зонах Европы и Северной Америки [8]. В РФ ими занято более половины всей площади, находящейся под листовыми древесными породами. В европейской части России наиболее распространены береза повислая (*Betula pendula* Roth) и береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.). По занимаемой площади береза стоит на третьем месте после лиственницы и сосны, являясь одной из основных лесообразующих пород. Ее ценность определяется пластичностью, неприхотливостью, способностью расти и возобновляться в различных лесорастительных условиях [10]. Она дает высококачественное сырье для разных отраслей народного хозяйства, причем все ее части – почки, ветки, листья, береста, сок и, особенно, древесина с давних пор широко используются человеком. Кроме того, она имеет огромное санитарно-гигиеническое значение. В последнее время береза привлекает все большее внимание лесоводов и ученых в плане улучшения различных ее качеств для использования в конкретных регионах страны [2, 6].

Целенаправленное изучение биологии березы началось в первой половине XX в. Несмотря на значительное внимание к ней как в России, так и за рубежом [9], многие вопросы, особенно касающиеся экологии ее выращивания на ранних этапах развития и имеющие большое значение при получении посадочного материала, изучены недостаточно. Практически не исследовано влияние температуры почвы на сеянцы березы [22]. В то же время возрастание роли экологических показателей в решении конкретных практических вопросов требует перевода их из качественного описания в количественное. Последнее стало возможно в результате развития фитотроники и вычислительной техники, разработки методики проведения многофакторных планируемых экспериментов [11]. При этом надо учитывать фактор времени, который связан со значительными изменениями растений в процессе роста и развития. Поэтому для оценки их реакции на действие условий внешней среды в активном эксперименте наиболее удобным интегральным показателем является первичный процесс продуктивности – CO_2 -обмен, быстро реагирующий на изменения параметров среды и доступный для регистрации без контакта с растением, дистанционно и непрерывно [17, 18].

Целью данного исследования являлось изучение свето-температурной характеристики двухлетних сеянцев березы пушистой путем определения в планируемом многофакторном эксперименте параметров внешней среды, обеспечивающих достижение потенциального максимума нетто-фотосинтеза исследуемых растений при естественном содержании в воздухе углекислого газа.

Исследования проводили в Институте биологии Карельского научного центра РАН (ИБ КарНЦ РАН) на экспериментальном материале, предоставленном сотрудниками Института леса Карельского научного центра РАН. Объектами изучения являлись двухлетние саженцы березы пушистой. В качестве посевного материала использовали сертифицированные семена от контролируемого опыления фирмы «Forelia OY» (Финляндия). В первый год ис-

следования семена проращивали на фильтровальной бумаге в чашках Петри, пикировали в стаканчики с песком, затем подросшие растения пересаживали в грунт, в условия теплицы на территории Агробиологической станции Карельского научного центра РАН. На второй год сеянцы переносили на грядки. По завершении второго года развития растения выкапывали из грунта и помещали по одному в пластиковые сосуды, сохраняя корневую систему. В течение недели сосуды с сеянцами находились в факторостатных условиях под светоустановкой с люминесцентными лампами при температуре воздуха 20,0/18,0 °С (день/ночь), освещенности 10...12 клк и 16-часовом фотопериоде.

Для проведения многофакторного эксперимента по 3 сосуда с растениями помещали в установку для исследования CO₂-обмена с регулируемыми условиями среды, позволяющую обеспечивать интенсивность освещенности в пределах 0...40 клк, температуру воздуха и почвы – соответственно 5,0...40,0 °С и 15...30 °С [11], где в двухкратной повторности (в течение трех дней каждая) проводили двухфакторный эксперимент [4, 13] при различной температуре почвы $T_{\text{п}}$ – соответственно в 1-й день – 15, во 2-й – 20, в 3-й – 25 °С (табл. 1).

Таблица 1

Точки плана эксперимента по изучению зависимости интенсивности нетто-фотосинтеза растений березы пушистой от переменных факторов среды

№ опыта	$T_{\text{в}}$, °С	E , клк
1	12,0	15
2	12,0	25
3	20,0	15
4	20,0	25
5	20,0	40
6	28,0	25
7	28,0	40

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, $T_{\text{в}}$ – температура воздуха, E – интенсивность освещенности по плану эксперимента.

При определении концентрации CO₂ использовали оптико-акустический инфракрасный газоанализатор Infracalor-IV (Германия, фирма «Junkalor»), включенный по дифференциальной схеме. После 40-минутной экспозиции на каждой ступени плана газообмен растения определяли по разности концентраций CO₂ на входе и выходе ассимиляционной камеры установки и скорости поступления наружного воздуха и пересчитывали на единицу сухой массы целых растений. Далее рассчитывали ассимиляцию углекислоты растениями на каждой ступени плана.

Обработка полученных данных методом множественного регрессионного анализа позволила получить ряд уравнений, отражающих зависимость интенсивности нетто-фотосинтеза интактных сеянцев березы от факторов среды (свет и температура воздуха) при трех уровнях температуры почвы:

$$NP = b_0 + b_1E + b_2T_{\text{в}} + b_3ET_{\text{в}} + b_4E^2 + b_5T_{\text{в}}^2,$$

где NP – интенсивность нетто-фотосинтеза, мг CO₂/(г·ч);

b_0, \dots, b_5 – коэффициенты, вычисленные по экспериментальным данным.

Достоверность коэффициентов уравнений проверяли по критерию Фишера (во всех вариантах $F_{расч} > F_{табл}$), самих уравнений – по коэффициенту множественной детерминации $R^2 > 0,8$ (при $p < 0,05$).

При анализе уравнений связи определяли максимальные значения интенсивности нетто-фотосинтеза растений, области оптимума (90 %) и уровни интенсивности света и температуры, обеспечивающие их.

Таблица 2

Потенциальный максимум (max) и оптимум (opt) нетто-фотосинтеза сеянцев березы пушистой и свето-температурные условия среды, обеспечивающие их достижение при разных уровнях температуры почвы

№ опыта	$T_{п.}, ^\circ\text{C}$	NP, мг CO ₂ /(г·ч)		Условия max		Условия opt	
		max	opt	E , клк	$T_{в.}, ^\circ\text{C}$	E , клк	$T_{в.}, ^\circ\text{C}$
1	15	5,13	4,87	57,3	26,3	41,3...73,2	20,0...32,5
2	20	3,97	3,74	43,7	22,2	31,5...55,8	17,5...26,9
3	25	3,69	3,39	41,4	15,4	30,5...52,2	8,4...22,4

Как показал анализ полученных данных (табл. 2), наибольшего потенциального максимума нетто-фотосинтеза растения двухлетних сеянцев березы пушистой достигают при температурах почвы 15 °С, воздуха 26,3 °С и освещенности 57,3 клк. При этом оптимум их нетто-фотосинтеза лежит в широком свето-температурном диапазоне и обеспечивает 90 % от уровня продуктивности, что соответствует фоновой зоне, в пределах которой изменение интенсивности фактора не влияет на устойчивость растения [7, 23]. При более высокой температуре почвы (20...25 °С) потенциальный максимум нетто-фотосинтеза сеянцев березы значительно ниже, чем при температуре почвы 15 °С, и достигается при более низких значениях температуры воздуха и освещенности. Снижение видимого фотосинтеза при повышении температуры почвы, возможно, происходит в результате возрастания дыхания корневой системы [19]. Ранее, в работе финских коллег [22], показано, что низкие температуры почвы (5...10 °С) отрицательно сказываются на росте трехлетних сеянцев березы повислой, снижая их фотосинтез, сухой вес листьев и изменяя ряд физиологических показателей. Это, вероятно, связано с тем, что локальное охлаждение корневой системы, как было показано на пшенице, вызывает закаливающий эффект всего растения [3].

На рис. 1 приведены графики, отражающие влияние температуры воздуха на видимый фотосинтез интактных растений сеянцев березы при трех уровнях температуры почвы и разной интенсивности освещенности: на уровне потенциального максимума и из областей предполагаемого оптимума с учетом экспериментальных точек.

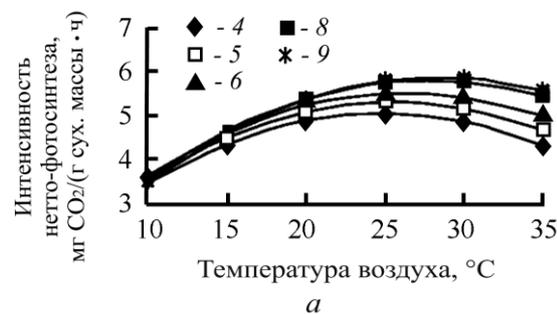
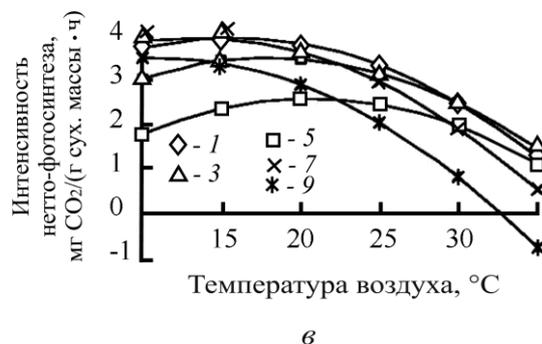
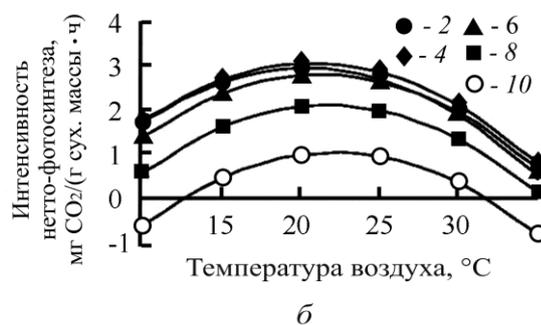


Рис. 1. Влияние температуры воздуха на интенсивность видимого фотосинтеза двухлетних сеянцев *Betula pubescens* в зависимости от температуры почвы (а-в) и разной интенсивности освещенности (1-10): а – 15 °С, б – 20, в – 25 °С; 1 – 20 клк; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35; 5 – 40; 6 – 45; 7 – 50; 8 – 55; 9 – 60; 10 – 65 клк

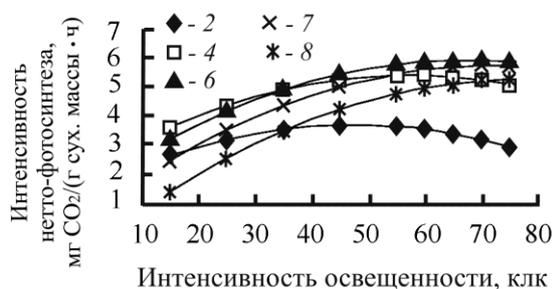


Анализ полученных графиков свидетельствует о значительном влиянии всех исследуемых факторов среды на видимый фотосинтез сеянцев. При температуре почвы 15 °С (рис. 1, а), обеспечивающей достижение максимума нетто-фотосинтеза, наиболее сильное влияние на него оказывает температура почвы, о чем свидетельствует угол наклона кривых при всех рассматриваемых уровнях освещенности и их сближенность, особенно при низких температурах воздуха. При этом во всем диапазоне исследованных температур воздуха повышенная освещенность (50...60 клк) наиболее эффективна и, вероятно, входит в зону оптимума освещенности при заданном сочетании условий внешней среды для конкретного объекта.

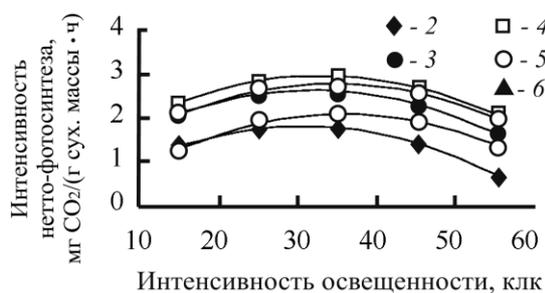
Повышение температуры почвы до 20 °С (рис. 1, б) значительно снижает потенциальный максимум видимого фотосинтеза и сказывается на реакции растений как на интенсивность освещенности, так и на температуру воздуха. Судя по наклону кривых, значительно возрастает влияние температуры воздуха на фотосинтез, а расположение кривых свидетельствует, что при данной температуре почвы интенсивность освещенности выше 45 клк выходит за пределы фоновой зоны. Последнее, вероятно, связано с тем, что при интенсивности освещенности выше оптимальных значений вначале происходит перестроение хлоропластов с изменением их положения к световому потоку [5, 24], при дальнейшем усилении освещенности возможно образование синглетного кислорода, ведущего к саморазрушению клеток [15, 20, 23].

При температуре почвы 25 °С (рис. 1, в) значительно изменяется реакция растений на свето-температурные условия внешней среды. Максимум видимого фотосинтеза сеянцев при интенсивности освещенности более 30 клк смещается в сторону пониженных температур воздуха и резко снижается при возрастании температур воздуха. Компенсационное освещение, судя по характеру кривых, также смещается в сторону низких значений температуры. При пониженной освещенности влияние температуры уменьшается.

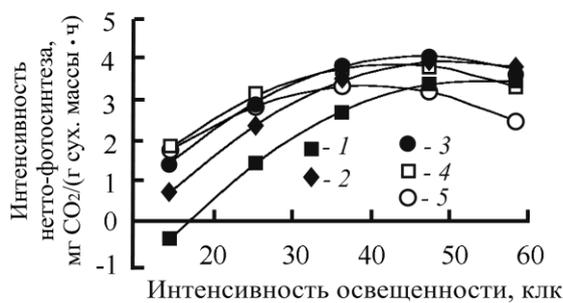
Для иллюстрации влияния интенсивности освещенности на нетто-фотосинтез сеянцев березы были построены графики по экспериментальной модели (рис. 2, а–в), которые имели, в основном, куполообразную форму в отличие от приведенных в большинстве литературных источников [1, 12, 14], где данные были получены в природных условиях или в однофакторных экспериментах. По мнению авторов, при достижении определенной интенсивности освещенности кривые нетто-фотосинтеза выходят на плато из-за достижения светового насыщения. Этому утверждению противоречат данные о влиянии избыточной освещенности на появление синглетного кислорода и его разрушительного действия на фотосинтетический аппарат в результате развития окислительного стресса [16]. По нашему мнению, выход кривой нетто-фотосинтеза на плато, отмеченный в ряде публикаций, вероятнее всего является следствием не светового насыщения, а влияния лимитирующего фактора: в природе это, возможно, недостаток влаги, а в эксперименте – температура. Анализ полученных графиков подтверждает взаимовлияние на нетто-фотосинтез сеянцев березы исследуемых факторов внешней среды, в том числе и температуры почвы. При этом на кривых также выделяется температурная зона оптимума, зависящая от температуры почвы. Но если при температуре почвы 20 °С экспериментальные точки попадают практически в центр зоны светового и температурного оптимума, то при температуре почвы 15 °С необходима более высокая интенсивность освещенности. Поэтому экспериментальные точки не покрывают всю зону оптимума, что частично компенсируется возможностями модели.



a



b



в

Рис. 2. Влияние освещенности на интенсивность видимого фотосинтеза двухлетних сеянцев *Betula pubescens* в зависимости от температуры почвы (а–в) и разной температуры воздуха (1–8): а – 15 °С; б – 20; в – 25 °С; 1 – 5 °С; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25; 6 – 30; 7 – 35; 8 – 40 °С

Таким образом, проведенные на базе Института биологии КарНЦ РАН исследования показали значительное влияние температуры почвы на сеянцы березы пушистой и взаимосвязь этого процесса с основными факторами внешней среды. Потенциальный максимум нетто-фотосинтеза при естественном содержании в воздухе CO_2 достигается сеянцами при температуре почвы 15 °С, воздуха 26,2 °С и освещенности 57,2 клк. Широкий светотемпературный диапазон оптимума, обеспечивающий 90 %-й уровень видимого фотосинтеза сеянцев, по исследованным факторам внешней среды имеет место при следующих показателях: температура воздуха – 20,0...32,5 °С; освещенность – 41,3...73,2 клк; температура почвы – 12...18 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березина Н.А., Афанасьева Н.П. Экология растений. М.: Академия, 2009. 400 с.
2. Ветчинникова Л.В. Береза. Вопросы изменчивости. М.: Наука, 2004. 183 с.
3. Влияние охлаждения корней на устойчивость клеток листьев и активность фотосинтетического аппарата пшеницы / Ф.В. Венжик, А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Е.А. Назаркина // Докл. РАН. 2009. № 3, вып. 427. С. 314–416.
4. Голикова Г.И., Панченко Л.А., Фридман М.З. Каталог планов второго порядка. М.: МГУ, 1974. Вып. 47, ч. 1. 383 с.
5. Горышина Т.К. Экология растений. М.: Высш. шк., 1979. 168 с.
6. Гроздова Н.Б. Березы. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 67 с.
7. Дроздов С.Н., Курец В.К. Некоторые аспекты экологической физиологии растений. Петрозаводск, 2003. 172 с.
8. Ермаков В.И. Морфо-физиологические адаптации основных видов березы на Севере. Петрозаводск, 1975. С. 64–88.
9. Ермаков В.И. Механизмы адаптации березы к условиям Севера. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1986. 144 с.
10. Колмогорова Е.Ю., Кайдорина В.А., Неверов О.А. Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесн. журн. 2012. №2. С. 20–27. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Курец В.К., Попов Э.Г. Статистическое моделирование системы растение – среда. Л.: Наука, 1991. 152 с.
12. Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 384 с.
13. Лисенков А.Н. Математические методы планирования многофакторных медико-биологических экспериментов. М.: Медицина, 1979. 344 с.
14. Малкина И.С., Цельникер Ю.Л., Якишина А.М. Фотосинтез и дыхание подроста. М.: Наука, 1970. 184 с.
15. Механизмы адаптации фотосинтетического аппарата к стрессовым воздействиям / Т.К. Головкин, О.В. Дымова, Я.Н. Яцко, И.Г. Шахновский, И.В. Дальке, Г.И. Табаленкова // Устойчивость организмов к неблагоприятным факторам внешней среды: материалы Всерос. науч. конф. Иркутск, 2009. С. 89–92.
16. Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. М.: МГУ, 1992. 320 с.
17. Суворова Г.Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Гео, 2009. 195 с.
18. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 199 с.
19. Цельникер Ю.Л. Дыхание корней и их роль в углеродном балансе древостоя / Ю.Л. Цельникер, Л.С. Малкина, А.Г. Ковалев, С.Н. Чмора, В.В. Мамаев, А.Г. Молчанов // Лесоведение. 2005. №6. С. 11–18.
20. Bennett J. Protein phosphorylation in green plant chloroplasts // Ann. Rev. Plant Physiol. 1991. Vol. 42. P. 281–311.
21. Powles S.B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light // Ann. Rev. Plant Physiol. 1984. Vol. 35. P. 15–44.
22. Responses of silver saplings to low soil temperature / P.J. Aphalo, M. Lahti, T. Lehto, T. Repo, A. Rummukainen, H. Mannerkoski, L. Finer // Silva Fennica. 2006. Vol. 40, N 3. P. 429–442.
23. The effect of temperature on cold and heat resistance of growing plants. Cold resistant species / S.N. Drozdov, A.V. Titov, N.I. Balagurova, S.P. Kritenko // Journal of Experimental Botany. 1984. Vol. 35, 180. P. 1603–1608.

24. Williams W.E., Gorton H.L., Witiak S.M. Chloroplast movements in the field // Plant, Cell and Environ. 2003. Vol. 26, N 12. P. 2005–2014.

Поступила 11.10.12

Light-Temperature Characteristics of *Betula pubescens* (Betulaceae) Seedlings

S.N. Drozdov, Doctor of Biology, Professor

E.S. Kholoptseva, Candidate of Biology, Senior Researcher

Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Russia, 185910
E-mail: holoptseva@krc.karelia.ru

T.A. Sazonova, Doctor of Biology, Leading Researcher

Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
Pushkinskaya, 11, 185910, Petrozavodsk, Russia
E-mail: alt86@rambler.ru

Representatives of *Betula* are one of the main tree species within the Russian Federation, occupying more than half of the total area of deciduous tree species. Due to the fact that birch provides high quality raw material for various sectors of the economy, the first half of the 20th century saw targeted studies of its developmental biology. As of today, however, its cultivation ecology has not been adequately investigated.

Therefore, we studied the light-temperature characteristics of two-year birch seedlings under controlled environmental conditions in a complex planned experiment with three levels of soil temperature (15, 20 and 25°C). It was shown that the ecophysiological characteristics of intact plants depend on all of the environmental factors under study. The greatest potential maximum of net photosynthesis in birch seedlings was reached at the soil temperature of 15 °C, air temperature 26.3°C and light 57.3 klx. In addition, the seedlings had wide temperature (20.0–32.5°C) and light (41.3–73.2 klx) ranges of optimum providing 90 % net photosynthesis. The soil temperature raised to 20°C and above leads to lower potential level of apparent photosynthesis and narrower light-temperature optimum at natural CO₂ levels in the air. With increased air temperature birch seedlings reach the maximum net photosynthesis at a brighter light.

Keywords: *Betula pubescens* Ehrh., multifactor planned experiment, CO₂ exchange, light-temperature characteristics.

REFERENCES

1. Berezina N.A., Afanas'eva N.P. *Ekologiya rasteniy* [Plant Ecology]. Moscow, 2009. 400 p.
2. Vetchinnikova L.V. *Bereza. Voprosy izmenchivosti* [Birch. Variability Issues]. Moscow, 2004. 183 p.
3. Venzhik F.V., Titov A.F., Talanova V.V., Nazarkina E.A. Vliyanie okhlazhdeniya korney na ustoychivost' kletok list'ev i aktivnost' fotosinteticheskogo apparata pshenitsy [Effect of Root Cooling on the Tolerance of Wheat Leaf Cells and Activity of the Photosynthetic Apparatus]. *Doklady RAN*, 2009, no. 3, iss. 427, pp. 314–416.
4. Golikova G.I., Panchenko L.A., Fridman M.Z. *Katalog planov vtorogo poryadka* [Catalog of Second-Order Designs]. Moscow, 1974, iss. 47, part 1. 383 p.

5. Goryshina T.K. *Ekologiya rasteniy* [Plant Ecology]. Moscow, 1979. 168 p.
 6. Grozdova N.B. *Berezy* [Birch]. Moscow, 1979. 67 p.
 7. Drozdov S.N., Kurets V.K. *Nekotorye aspekty ekologicheskoy fiziologii rasteniy* [Some Aspects of Environmental Physiology of Plants]. Petrozavodsk, 2003. 172 p.
 8. Ermakov V.I. *Morfo-fiziologicheskie adaptatsii osnovnykh vidov berezy na Severe* [Morphological and Physiological Adaptation of the Main Birch Types in the North]. Petrozavodsk, 1975, pp. 64–88.
 9. Ermakov V.I. *Mekhanizmy adaptatsii berezy k usloviyam Severa* [Mechanisms of Birch Adaptation to the Conditions of the North]. Leningrad, 1986. 144 p.
 10. Kolmogorova E.Yu., Kaydorina V.A., Neverov O.A. Morfofiziologicheskaya otsenka sostoyaniya berezy povisloy v usloviyakh deystviya vybrosov avtotransporta [Morphophysiological Assessment Indices of the Woody Plants Sustainability and Pollution of Air in Kemerovo]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 20–27.
 11. Kurets V.K., Popov E.G. *Statisticheskoe modelirovanie sistemy rastenie – sreda* [Statistical Modeling of the Plant – Environment System]. Leningrad, 1991. 152 p.
 12. Larkher V. *Ekologiya rasteniy* [Plant Ecology]. Moscow, 1978. 384 p.
 13. Lisenkov A.N. *Matematicheskie metody planirovaniya mnogofaktornykh mediko-biologicheskikh eksperimentov* [Mathematical Methods for Planning Multivariate Biomedical Experiments]. Moscow, 1979. 344 p.
 14. Malkina I.S., Tsel'niker Yu.L., Yakshina A.M. *Fotosintez i dykhanie podrosta* [Photosynthesis and Undergrowth Respiration]. Moscow, 1970. 184 p.
 15. Golovko T.K., Dymova O.V., Yatsko Ya.N., Shachnovski I.G., Dal'ke I.V., Tabalenkova G.I. *Mekhanizmy adaptatsii fotosinteticheskogo apparata k stressovym vozdeystviyam* [Mechanisms of Photosynthetic Apparatus Adaptation to Stress]. *Ustoychivost' organizmov k neblagopriyatnym faktoram vneshney sredy: materialy Vseros. nauch. konf.* [Resistance of Organisms to Adverse Environmental Factors: Proc. All-Russian Sci. Conf.]. Irkutsk, 2009, pp. 89–92.
 16. Mokronosov A.T., Gavrilenko V.F. *Fotosintez. Fiziologo-ekologicheskie i biokhimicheskie aspekty* [Photosynthesis. Physiological, Ecological and Biochemical Aspects]. Moscow, 1992. 320 p.
 17. Suvorova G.G. *Fotosintez khvoynykh derev'ev v usloviyakh Sibiri* [Photosynthesis of Conifers in Siberia]. Novosibirsk, 2009. 195 p.
 18. Tooming Kh.G. *Solnechnaya radiatsiya i formirovanie urozhaya* [Solar Radiation and Yield Formation]. Leningrad, 1977. 199 p.
 19. Tsel'niker Yu.L., Malkina L.S., Kovalev A.G., Chmora C.Y., Mamaev V.V., Molchanov A.G. *Dykhanie korney i ikh rol' v uglerodnom balanse drevostoy* [Respiration of Roots and Their Role in the Carbon Balance of Woody Plants]. *Lesovedenie*, 2005, no. 6, pp. 11–18.
 20. Bennett J. Protein Phosphorylation in Green Plant Chloroplasts. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1991, vol. 42, pp. 281–311.
 21. Powles S.B. Photoinhibition of Photosynthesis Induced by Visible Light. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1984, vol. 35, pp. 15–44.
 22. Aphalo P.J., Lahti M., Lehto T., Repo T., Rummukainen A., Mannerkoski H., Finer L. Responses of Silver Saplings to Low Soil Temperature. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40, no. 3, pp. 429–442.
 23. Drozdov S.N., Titov A.V., Balagurova N.I., Kritenko S.P. The Effect of Temperature on Cold and Heat Resistance of Growing Plants. II. Cold Resistant Species. *Journal of Experimental Botany*, 1984, vol. 35, 180, pp. 1603–1608.
 24. Williams W.E., Gorton H.L., Witiak S.M. Chloroplast Movements in the Field. *Plant, Cell and Environment*, 2003, vol. 26, no.12, pp. 2005–2014.
-

УДК 630*232.327

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКОВ

© *И.С. Коновалова, канд. с.-х. наук, доц.*
Н.А. Бабич, д-р с.-х. наук, проф.
С.Н. Марич, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail: i.nechaeva@narfu.ru

Обсуждается проблема фитоценотической значимости (активности видов) растений как меры их преуспеяния в ценозе. Рассматриваются вопросы определения величины и степени изменения активности в различных аспектах.

Следует отметить, что общепринятых комплексных методик по определению степени активности сеgetальной флоры питомников нет. Принятая нами методика синтезирует адаптированные к флоре лесных питомников частные методики по исследованию отдельных вопросов. По широте эколого-ценотической амплитуды все виды флоры питомников разделены на 4 категории, для которых был принят предложенный в 1955 г. П.Н. Овчинниковым термин «фитоценоцикл». По степени постоянства все виды были разбиты на пять классов: I – вид встречается менее чем на 20 % флороценотического комплекса, II – на 21...40 %, III – на 41...60 %, IV – на 61...80 %, V – на 81...100 %. По степени покрытия виды были разбиты на четыре класса.

Изучение эколого-ценотической амплитуды видов флоры питомников показало, что в ее составе преобладают виды с эвритопным (широким) фитоценоциклом (42 %), на втором месте – виды с гемиевритопным фитоценоциклом (24 %), и завершают ряд виды со стеноитопным (17 %) и гемистеноитопным (17 %) фитоценоциклами. С увеличением класса постоянства уменьшается количество видов, %: I класс – 35; II – 22; III – 16; IV – 14; V – 13. По степени покрытия виды распределяются следующим образом, %: I класс – 25, II – 53, III – 21, IV – 1. В количественном отношении преобладают средне- (54 %) и малоактивные (27 %) виды, активных видов в среднем не более 15 %, неактивных – 5 %..

Важная в теоретическом и практическом отношениях проблема активности видов при ботанико-географических исследованиях открывает перспективы в изучении более глубоких закономерностей организации растительного покрова.

Ключевые слова: сеgetальная флора, активность вида, флороценотические комплексы, фитоценоцикл, эколого-ценотическая амплитуда, степень постоянства вида, обилие вида.

Активность вида, согласно Б.А. Юрцеву [12], можно рассматривать как меру его преуспеяния. Автор, предположив, что активность вида пропорциональна интенсивности освоения им ландшафта, определял ее по степени экологической амплитуды, площади (повсеместности и равномерности) распространения основных типов местообитания вида внутри ландшафта, степени

постоянства численности вида на основных экотопах. Соответственно, активность определяется ценотической ролью, местом, которое вид занимает среди других в результате сложившихся связей в сообществах. Исследователи предлагали и другие подходы к определению активности видов. Так, Л.И. Малышев [8] оценивал активность видов лишь двумя показателями: встречаемостью и обилием. А.Е. Катенин [6] также использовал два показателя: встречаемость и проективное покрытие, при этом активность рассчитывал путем суммирования произведений значений проективного покрытия вида на число описаний, в которых вид встречается. Развивая далее идеи Б.А. Юрцева [12], Т.Э.-А. Фрея [11] и др., Я.П. Дидух [5] активность вида отражал в трех главных фитоценотических компонентах: широте эколого-ценотической амплитуды вида, степени постоянства и степени покрытия (или численности) вида в сообществах.

Следует отметить, что общепринятых комплексных методик по определению степени активности сеgetальной флоры питомников нет. Принятая нами классификация сорных видов по степени активности синтезирует адаптированные к флоре лесных питомников частные методики по изучению отдельных вопросов. Для примера приведем результаты, полученные нами при исследовании флоры лесных питомников [1–4].

В составе сорной флоры лесных питомников средней подзоны тайги Архангельской области выявлено 109 видов, относящихся к 29 семействам и 86 родам [1–4]. Ранжирование семейств по богатству видов показывает преобладание следующих таксонов: *Asteraceae* (19 видов), *Poaceae* (15), *Scrophulariaceae* (8), *Caryophyllaceae* (7), *Fabaceae* (7), *Rosaceae* (6), *Polygonaceae* (5), *Ericaceae* (4), *Labiatae* (4), *Brassicaceae* (3), *Ranunculaceae* (3), *Campanulaceae* (3) и др. Эти 12 семейств содержат 84 вида, остальные 17 семейств – одно- и двухвидовые.

Экологическую амплитуду определяли следующим образом. Описанные площадки растительности были объединены в группы, названные флороценотическими комплексами. Этот термин понимается как общность видов, имеющих сходный эколого-ценотический потенциал. Выделенные комплексы значительно отличаются по занимаемой площади, что влияет на реальную активность вида, в связи с чем указываем площадь каждого комплекса (в процентах от общей территории (76,4 га) исследованных питомников). Как видно из рис. 1, всего выделено пять флороценотических комплексов: Нядомского (26 %), Каргопольского (14 %), Плесецкого (16 %), Коношского (15 %), Устьянского (29 %) питомников.

По широте эколого-ценотической амплитуды все виды питомников разделены на четыре категории, для которых был принят предложенный П.Н. Овчинниковым термин «фитоценоцикл»* [2]:

*Совокупность всех растительных группировок, где встречается данный вид.



Рис. 1. Граф видового сходства флороценоотических комплексов

1. Стенотопный фитоценоцикл (самый узкий) – вид встречается на одном участке в составе какого-либо одного в данном регионе флороценоотического комплекса, например: *Carex globularis* L., *Trollius europaeus* L., *Polygonum minus* Huds., *Calluna vulgaris* L. и др.

2. Гемистенотопный фитоценоцикл – вид встречается на нескольких участках в составе одного флороценоотического комплекса, например: *Equisetum pratense* L., *Poa annua* L., *Melica nutans* L., *Urtica urens* L., *Cerastium holosteoides* Fries и др. Стенотопный и гемистенотопный фитоценоциклы – это так называемые верные виды комплексов.

3. Гемизвритопный фитоценоцикл – вид встречается в составе двух типов флороценоотических комплексов в данном регионе, например: *Barbarea vulgaris* R. Br., *Plantago media* L., *Erigeron acris* L. и др.

4. Эвритопный фитоценоцикл (самый широкий) – вид встречается в составе большинства типов комплексов в данном регионе, например: *Elytrigia repens* L., *Deschampsia caespitosa* L., *Spergula arvensis* L., *Chenopodium album* L., *Vicia cracca* L., *Chamaenerion angustifolium* L. и др.

Изучение эколого-ценотической амплитуды видов флоры питомников показало, что в ее составе преобладают виды с эвритопным (широким) фитоценоциклом (42 %), на втором месте – виды с гемизвритопным фитоценоциклом (24 %), завершают ряд виды со стенотопным (17 %) и гемистенотопным фитоценоциклом (17 %). С одной стороны это свидетельствует о некотором сходстве

видового состава фитоценозов, с другой – объясняется большой специфичностью рассмотренной флоры, пространственной неоднородностью растительного покрова, которая, по мнению А.М. Крышенина [7], может определяться почвенной неоднородностью, а также антрополическим фактором, куда можно отнести неравномерность обработки гербицидами и применение различных препаратов, различие в качестве ручных прополок и др. Б.М. Миркин [10] подчеркивает, что сходство видового состава зависит как от комплекса чисто физических абиотических условий среды (количества осадков и ритма их поступления, обеспеченности почвы минеральными веществами, температурного режима), так и от свойств слагающих сообщество ценопопуляций растений.

Вторым компонентом активности вида служит *степень постоянства* его в сообществах. Как известно, одни и те же виды в различных ценозах имеют неодинаковую степень постоянства.

По степени постоянства виды были разбиты на пять классов: I – вид встречается менее чем на 20 % площади флороценотического комплекса, II – на 21...40 %; III – на 41...60 %; IV – на 61...80 %; V – на 81...100 %. Анализ полученных данных показал, что с увеличением класса постоянства уменьшается количество видов, %: I класс – 35, II – 23, III – 16, IV – 14, V – 12 (рис. 2).

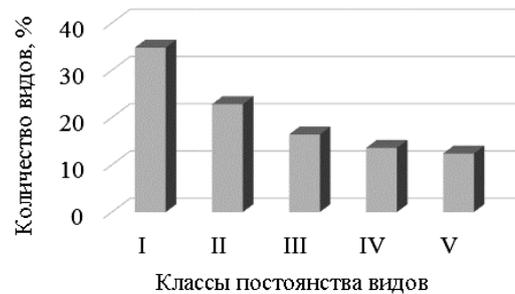


Рис. 2. Степень постоянства видов

Третьим признаком активности вида служит *засоренность*, или *обилие* его в ценозе. Для характеристики уровня засоренности обследуемых участков при визуальных учетах на протяжении длительного времени рекомендуется ставшая классической шкала, предложенная в 1909 г. А.И. Мальцевым [9].

По степени засоренности виды были разбиты на четыре класса (рис. 3): I – встречаются единичные сорняки (25 %); II – сорняки встречаются в незначительном количестве, но теряются среди массы культурных растений (53 %); III – сорняки встречаются в большом количестве, но культурные растения в нем преобладают (21 %); IV – сорняки преобладают количественно над культурными растениями, угнетая их (1 %).

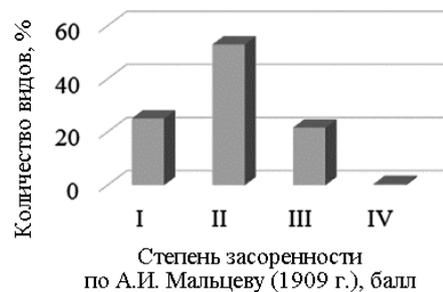


Рис. 3. Степень засоренности видов

По величине активности все виды сорных растений лесных питомников были распределены по четырем ступеням:

активные – эвритопные, гемиэвритопные, имеющие III–V класс постоянства и 3–4 балла засоренности в сообществах нескольких флороценологических комплексов (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.; *Cirsium arvense* (L.) Scop.; *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv.; *Elytrigia repens* (L.) Nevski; *Festuca pratensis* Huds.; *Festuca rubra* L.; *Phleum pratense* L.; *Poa pratensis* L.; *Vicia cracca* L.);

среднеактивные – эвритопные, гемиэвритопные, имеющие II–IV, реже V класс постоянства, и 2–3 балла засоренности в сообществах большинства флороценологических комплексов (*Achillea millefolium* L.; *Anthoxanthum odoratum* L.; *Arctostaphylos uvaursi* (L.) Spreng.; *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.; *Campanula glomerata* L.; *Campanula patula* L.; *Chamerion angustifolium* (L.) Holub; *Chamomilla suaveolens* (Pursh) Rydb.; *Chenopodium album* L.; *Convolvulus arvensis* L.; *Dactylis glomerata* L.; *Equisetum arvense* L.; *Erigeron acris* L.; *Lerschenfeldia flexuosa* (L.) Schur; *Leucanthemum vulgare* Lam.; *Linaria vulgaris* L.; *Melilotus albus* Medik.; *Myosotis arvensis* (L.) Hill; *Plantago major* L.; *Plantago media* L.; *Prunella vulgaris* L.; *Ranunculus acris* L.; *Ranunculus repens* L.; *Rumex acetosella* L.; *Rumex confertus* Willd.; *Senecio vulgaris* L.; *Sonchus arvensis* L.; *Spergula arvensis* L.; *Stellaria graminea* L.; *Stellaria media* (L.) Willd.; *Taraxacum officinale* Wigg.; *Trifolium pratense* L.; *Trifolium repens* L.; *Tussilago farfara* L.; *Urtica dioica* L.; *Veronica chamaedrys* L.; *Viola arvensis* Murr.; *Viola tricolor* L.);

малоактивные – гемиэвритопные, гемистенотопные, стенотопные, имеющие I–II класс постоянства и 2 балла засоренности только в сообществах отдельных комплексов (*Aegopodium podagraria* L.; *Alchemilla acutiloba* Opiz.; *Alopecurus pratensis* L.; *Antennaria dioica* (L.) Gaertn.; *Apera spicaventi* L.; *Arctium tomentosum* Mill.; *Barbarea vulgaris* R. Br.; *Bromus arvensis* L.; *Campanula rotundifolia* L.; *Carduus crispus* L.; *Cerastium holosteoides* Fries; *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert; *Equisetum pratense* L.; *Fragaria vesca* L.; *Galeopsis ladanum* L.; *Galeopsis speciosa* Mill.; *Galium aparine* L.; *Gnaphalium uliginosum* L.; *Hieracium murorum* L.; *Hypericum quadrangulum* L.; *Knautia arvensis* (L.) Coult.; *Lamium amplexicaule* L.; *Lathyrus pratensis* L.; *Melica nutans* L.; *Oberna behen* (L.) Ikonn.; *Odontites vulgaris* Moench; *Poa annua* L.; *Polygonum aviculare* L.; *Polygonum hydropiper* L.; *Pyrola rotundifolia* L.; *Raphanus raphanistrum* L.; *Rhinanthus vernalis* (N. Zing.) Schischk. et Serg.); *Ribes nigrum* L.; *Rosa acicularis* Lindl.; *Rubus idaeus* L.; *Rubus saxatilis* L.; *Sagina nodosa* (L.) Fenzl.; *Saponaria officinalis* L.; *Solidago virgaurea* L.; *Tanacetum vulgare* L.; *Trifolium hybridum* L.; *Trifolium spadicum* L.; *Urtica urens* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.; *Veronica longifolia* L.; *Veronica serpyllifolia* L.);

неактивные – стенотопные, имеющие I класс постоянства, единично произрастающие в сообществах отдельных комплексов (*Angelica sylvestris* L.; *Artemisia vulgaris* L.; *Calluna vulgaris* (L.) Hill; *Carex globularis* L.; *Centaurea jacea* L.; *Epilobium palustre* L.; *Geranium pratense* L.; *Ledum palustre* L.; *Melampyrum pratense* L.; *Polygonum minus* Huds.; *Potentilla anserina* L.;

Pulmonaria obscura Dumort.; *Ribes rubrum* L.; *Trollius europaeus* L.; *Valeriana officinalis* L.; *Veronica scutellata* L.).

Активность видов флоры рассматривается как отражение ее ценотической структуры, поэтому одним из важнейших этапов структурного анализа является установление закономерностей количественного распределения видов флоры по ступеням активности (рис. 4).

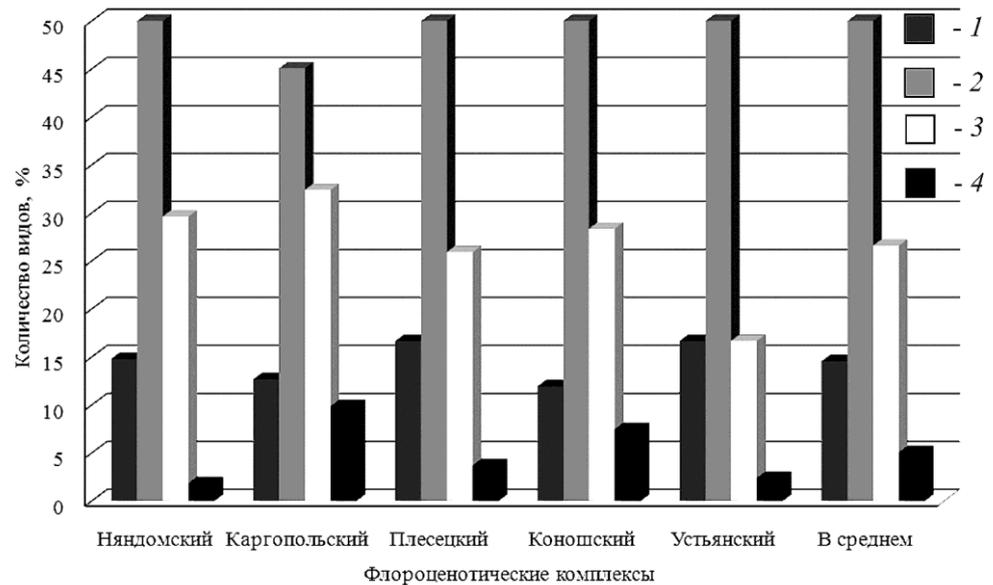


Рис. 4. Спектр распределения частот активности видов и ее составляющих компонентов в ценофлорах лесных питомников по ступеням активности: 1 – активные, 2 – среднеактивные, 3 – малоактивные, 4 – неактивные

Анализ распределения видов по ступеням активности показал, что во флоре питомников средней подзоны тайги в количественном отношении преобладают среднеактивные (54 %) и малоактивные (27 %) виды, активных видов в среднем не более 15 %. Неактивные виды во всех комплексах занимают последнее место (5 %).

Таким образом, важная как в теоретическом, так и в практическом отношении проблема активности видов при ботанико-географических исследованиях открывает перспективы в изучении более глубоких закономерностей организации растительного покрова сорной флоры лесных питомников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Нечаева И.С. Сорная растительность в лесных питомниках // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 15–17. (Изв. высш. учебн. заведений).

2. Бабич Н.А., Нечаева И.С. Сорная растительность лесных питомников: моногр. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. 187 с.
3. Бабич Н.А., Нечаева И.С. Репродуктивные свойства сорных растений лесных питомников // Вестн. МарГТУ. 2010. № 2(9). С. 57–67.
4. Бабич Н.А., Нечаева И.С. Систематическая структура сорной растительности лесных питомников средней подзоны тайги Архангельской области // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. XXVIII. С. 72–77.
5. Дидух Я.П. Проблемы активности видов растений // Ботан. журн. 1982. Т. 67, № 7. С. 925–935.
6. Катенин А.Е. Геоботанические исследования на Чукотке // Ботан. журн. 1974. Т. 59, № 11. С. 1583–1596.
7. Крышень А.М. Изучение структуры фитоценоза лесного питомника. Ч. 3. Условия стабильности // Вестн. СПбГТУ. Сер. 3. Биология. 1995. Вып. 2 (№ 10). С. 42–46.
8. Мальцев Л.И. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Ботан. журн. 1973. Т. 58, № 2. С. 1581–1588.
9. Мальцев А.И. Сорная растительность СССР и меры борьбы с нею. М.; Л.: Сельхозгиз, 1936. 317 с.
10. Миркин Б.М. Что такое растительные сообщества. М.: Наука, 1986. 164 с.
11. Фрей Т.Э.-А. Некоторые аспекты фитоценотической значимости вида в растительном сообществе // Ботан. журн. 1966. Т. 51, № 8. С. 1073–1084.
12. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята: Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л.: Наука, 1968. 235 с.

Поступила 04.04.13

Phytocenotic Importance of Weed Plants in Forest Nurseries

I.S. Konovalova, Candidate of Agriculture, Associate Professor
N.A. Babich, Doctor of Agriculture, Professor
S.N. Marich, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia
E-mail: i.nechaeva@narfu.ru

The paper discussed phytocenotic importance (species activity) of plants as an indicator of their prosperity in the cenosis. The problems of determining the extent and rate of activity changes are considered in various aspects.

It should be noted that there are no conventional integrated techniques of determining the degree of segetal flora activity in nurseries. We have adopted a technique synthesizing various specific methodologies adapted to the forest nursery flora. According to the ecological-cenotic range, all nurseries are divided into 4 categories, for which we use the term *phytocenotic cycle* proposed by P.N. Ovchinnikov in 1955. According to the degree of constancy, all species were grouped into five classes: I – species found on less than 20 % of the plant community, II – on 21–40 %, III – on 41–60 %, IV – on 61–80 %, and V – on 81–100 %. According to the coverage degree, the species were divided into four classes.

The study of the ecological-cenotic range of flora species in nurseries showed that its composition is dominated by species with eurytopic phytocenotic cycle (42 %), i.e. wide phytocenotic cycle; the second place is taken by the species with hemieurytopic phytoceno-

tic cycle (24 %), and the last ones in the ranking are species with stenotopic (17 %) and hemistenotopic phytocenotic cycles (17 %). The higher the class of constancy, the smaller the number of species: class I – 35 %, II – 22 %, III – 16 %, IV – 14 %, V – 13 %. According to the degree of coverage, the species are divided as follows: class I – 25 %, II – 53 %, III – 21 %, IV – 1 %. In terms of quantity, there dominate medium-activity (54 %) and low-activity (27 %) species. Active species were about 15 %, non-active species were 5 %.

Thus, the important in terms of theory and practice problem of species activity offers prospects for an in-depth research into the principles of plant cover organization.

Keywords: segetal flora, species activity, plant community, phytocenotic cycle, ecological-cenotic range, species coverage degree, abundant species.

REFERENCES

1. Babich N.A., Nechaeva I.S. Sornaya rastitel'nost' v lesnykh pitomnikakh [Weed Vegetation in Forest Nurseries]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no 2, pp. 15–17.
2. Babich N.A., Nechaeva I.S. Sornaya rastitel'nost' lesnykh pitomnikov [Weed Vegetation in Forest Nurseries]. Arkhangelsk, 2010. 187 p.
3. Babich N.A., Nechaeva I.S. Reproaktivnye svoystva sornykh rasteniy lesnykh pitomnikov [Reproductive Features of Weed Plants of the Tree Nurseries]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2010, no. 2 (9), pp. 57–67.
4. Babich N.A., Nechaeva I.S. Sistematicheskaya struktura sornoy rastitel'nosti lesnykh pitomnikov sredney podzony taygi Arkhangel'skoy oblasti [Systematic Structure of Weed Vegetation in Forest Nurseries of the Mid-Taiga Subzone of the Arkhangelsk Region]. *Khvoynye boreal'noy zony*, 2011, vol. 28, pp. 72–77.
5. Didukh Ya.P. Problemy aktivnosti vidov rasteniy [Issues of Plant Species Activity]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1982, vol. 67, no. 7, pp. 925–935.
6. Katenin A.E. Geobotanicheskie issledovaniya na Chukotke [Geobotanical Studies on the Chukchi Peninsula]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1974, vol. 59, no. 11, pp. 1583–1596.
7. Kryshen' A.M. Izuchenie struktury fitotsenoza lesnogo pitomnika. Ch.3. Usloviya stabil'nosti [Studying the Structure of Forest Nursery Phytocenosis. Part 3. Stability Conditions]. *Vestnik SPbGTU, Ser. 3. Biologiya*, 1995, iss. 2 (no. 10), pp. 42–46.
8. Malyshev L.I. Floristicheskoe rayonirovanie na osnove kolichestvennykh priznakov [Quantitative Floral Zoning]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1973, vol. 58, no. 2, pp. 1581–1588.
9. Mal'tsev A.I. Sornaya rastitel'nost' SSSR i mery bor'by s neyu [Weed Vegetation in the USSR and Measures of Fighting It]. Moscow, Leningrad, 1936. 317 p.
10. Mirkin B.M. *Chto takoe rastitel'nye soobshchestva* [Plant Community: What Is It?]. Moscow, 1986. 164 p.
11. Frey T.E.-A. Nekotorye aspekty fitotsenoticheskoy znachimosti vida v rastitel'nom soobshchestve [Some Aspects of Phytocenotic Significance of Species in a Plant Community]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1966, vol. 51, no. 8, pp. 1073–1084.
12. Yurtsev B.A. *Flora Suntar-Khayata: Problemy istorii vysokogornyykh landshaftov Severo-Vostoka Sibiri* [Flora of Suntar-Khayata Range: Historical Issues of Mountain Landscapes of North-East Siberia]. Leningrad, 1968. 235 p.

УДК 504.05

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЛЕСОЗАГОТОВОК

© С.М. Говорушко, д-р геогр. наук, гл. науч. сотр.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, д. 7, г. Владивосток, Россия, 690041; Дальневосточный федеральный университет, ул. Суханова, д. 8, г. Владивосток, Россия, 690950
E-mail: sgovor@tig.dvo.ru

Рубки леса имеют очень широкое распространение. Для них, как и для любого другого вида хозяйственной деятельности, характерны негативные экологические последствия. Цель статьи – выявление характера влияния лесозаготовок на природные компоненты. Задачи данной статьи – определение категории влияния лесохозяйственной деятельности на окружающую среду, выявление наиболее подверженных ее воздействию природных компонентов, выделение основных причин гибели людей при ее осуществлении.

Все влияние лесоразработки на окружающую среду можно разделить на три категории: 1) изъятие из природы вещества; 2) привнесение в природу чужеродных веществ и энергии; 3) преобразование и перераспределение вещества в природе.

Влияние лесоразработки сказывается на следующих компонентах природы: растительность; почвы; животный мир; поверхностные воды; атмосферный воздух.

Влияние на растительность в основном определяется сохранностью подроста. При транспортировке на каждое срубленное дерево приходится два погибших или серьезно поврежденных. Сплошные лесосечные рубки сильнее нарушают разнообразие растительности, чем постепенные и выборочные рубки. Зимние рубки значительно более безопасны, чем лесозаготовки в теплое время года.

Воздействие на почвы выражается в снижении плодородия, увеличении почвенной эрозии, изменении физических свойств.

Снижение плодородия почвы объясняется тем, что основная масса биогенных веществ, находящихся в деревьях, при вырубке удаляется. После вырубке лесов почвы подвергаются воздействию прямых солнечных лучей и сильных дождей. В почвах влажных тропиков отмечается дефицит фосфора и калия, в сухих тропиках – азота. Изменяются также соотношение углерод – азот, рН и концентрация способных к обмену оснований.

Эрозия почв провоцируется нарушением почвенно-растительного слоя при трелевке леса. Интенсивность смыва в первые два года после вырубке на склонах крутизной 10...20° достигает сотен кубометров с 1 га. Основные потери почв наблюдаются в первые 5...6 лет.

Главными нарушениями физических свойств почв являются изменение их плотности, пористости, коэффициента фильтрации.

Влияние на животный мир обусловлено сложностью связей в экосистемах, когда даже небольшие изменения могут привести к непредвиденным последствиям. Также в период лесозаготовок увеличиваются охота и рыболовство, в том числе браконьерскими способами.

Влияние на поверхностные воды выражается в увеличении высоты паводков на реках и усилении маловодья в межень. Воздействие на атмосферу вызвано загрязнением воздуха от работающей техники.

Гибель людей обусловлена следующими основными причинами: несчастными случаями; отравлениями ядохимикатами, применяемыми для борьбы с вредителями.

Ключевые слова: лесоразработки, лес, древесина, земной шар, природные компоненты, человеческая смертность.

Некоторые данные о лесах земного шара. Как известно, лес – это природный комплекс с преобладанием деревьев. Несмотря на кажущуюся простоту определения площади лесов, все современные оценки достаточно приблизительны, чему имеются следующие причины [2]: 1) несовершенство методов инвентаризации; 2) политические и экономические мотивы искажения данных национальными правительствами; 3) различные классификационные схемы и несовпадающие границы распространения основных формаций; 4) отсутствие достаточных средств для проведения инвентаризационных работ.

Основной причиной, влияющей на разброс оценок, является различие в определении понятия «лес». В силу этого данные из различных источников существенно разнятся. В основном они попадают в диапазон от 34,0 до 50,6 млн км² [27]. По информации, приведенной в отчете Продовольственной и сельскохозяйственной ООН (FAO), леса мира имеют площадь 40,3 млн км² [29]. Оценки FAO исходят из определения, что к лесам относятся все экологические системы с сомкнутостью древесного покрова не менее 10 %.

В последние десятилетия происходило постоянное уменьшение площади лесов. Так, темпы обезлесения в 1980-х гг., тыс. га/год: Бангладеш – 8, Пакистан – 9, Индия – 147, Малайзия – 255, Таиланд – 379, Индонезия – 620, Аргентина – 1550, Бразилия – 2323. При этом соотношение площадей лесовосстановления и лесосведения составляло 1:100 и даже 1:1000, как в Бразилии и Индонезии [30]. В течение 1990–1995 гг. площадь лесов на Земле уменьшилась на 56,3 млн га [20], что соответствует скорости обезлесивания 17,8 га/мин. За время существования человека залесенность суши снизилась с 75 до 28 % [17].

В современный период скорость уничтожения лесов уменьшилась. В период 1991–2000 гг. они сокращались на 83 340 км²/год, в 2001–2010 гг. – на 52 116 км²/год [29]. Лесные ресурсы мира (запас древесины на корню) составляют около 340...370 млрд м³, площадь пригодных для эксплуатации лесов – 25...28 млн км² [3].

Леса России. На долю России по разным данным приходится от 18,8 до 23,5 % общемировой площади лесов, при этом на душу населения – 5,1 га, в том числе 4,5 га – ненарушенных [21]. Среднемировой показатель – 0,6 га/чел. [29]. Залесенность территории России составляет 49,4 % [24], при этом 80 % приходится на хвойные породы (лиственница – 38 %, сосна – 16 %, ель – 12 %, кедр – 6 %), 20 % – на лиственные (береза – 13 %, осина – 3 %). Общий запас древесины в лесах России составляет около 80 млрд м³, из него 81% приходится на хвойные породы [12]. Ежегодный прирост древесины равен 0,7...1,2 млрд м³/год [26]. Тем не менее по объемам заготовки древесины

наша страна занимает достаточно скромное место, лидерами по объемам лесозаготовок являются США, Канада, Бразилия и Китай [15].

Использование древесины. Лесозаготовки – изъятие древесины для хозяйственных нужд. В 1994 г. в мире было заготовлено 3,36 млрд м³ древесины. Чуть больше половины ее объема пошло на топливо. Дрова для обогрева жилищ и приготовления пищи используют около 2,5 млрд чел. на земном шаре [5]. Другая часть (1,47 млрд м³) в виде круглого леса в основном использовалась для производства различной продукции: пиломатериалов (0,4 млрд м³), древесностружечных плит (0,18 млрд м³), целлюлозы для получения бумаги (270 млн т) [7].

Влияние лесохозяйственной деятельности. Влияние лесоразработки на окружающую среду можно разделить на три категории: 1) изъятие из природы вещества (вырубка и вывоз леса, ликвидация на ряде участков лесной подстилки и части почвы, в том числе за счет последующего смыва); 2) привнесение в природу чужеродных веществ и энергии (ядохимикаты при борьбе с болезнями и вредителями, топливо и продукты его сгорания при трелевке и вывозе леса и т.д.); 3) преобразование и перераспределение вещества в природе (изменение лесных ландшафтов в результате рубок, расчистка захламленных насаждений и т.д.) [4].

Изъятие из природы вещества (стволы, ветки, листья) приводит к обеднению почв и снижению их продуктивности. В лесах России на стволую древесину обычно приходится 65,0 % общей массы дерева, пни и корни – 13,0 %, кору – 9,0 %, сучья и ветви 8,5 %, листья и хвою – 4,5 %. В низких широтах доля стволуемой древесины ниже. Например, во влажнотропических лесах Кот-д’Ивуара на стволы и крупные ветви приходится лишь 64 % биомассы [7].

Если убираются лишь стволы, а кора и ветки остаются на месте, то питательных веществ, освобождающихся при выветривании горных пород и привносимых из воздуха, вполне хватает, чтобы компенсировать их вынос. Если лиственно-веточный опад также изымается, применяют удобрения. Их внесение направлено на активизацию почвенных организмов, ускорение разложения лесной подстилки и гумуса, приостановку ускоренного закисления почв [10, 13].

Влиянию лесоразработки подвергаются следующие компоненты: растительность; почвы; животный мир; поверхностные воды; атмосферный воздух. Этот вид деятельности нередко приводит к человеческой смертности.

Влияние на растительность в основном определяется сохранностью подроста. В тропических лесах часто производится не сплошная, а выборочная рубка наиболее ценных деревьев. При их транспортировке на каждое срубленное дерево приходится два погибших или серьезно поврежденных [6]. В развитых странах ущерб гораздо меньше. Например, при лесозаготовках в юго-западной части Франции 30 % площади остается без изменений,

32 % покрыто порубочными остатками, 29 % изменено в незначительной степени и лишь 9 % имеют серьезные нарушения [23].

Считается, что сплошные лесосечные рубки сильнее нарушают разнообразие растительности (рис. 1) по сравнению с постепенными и выборочными рубками [19]. Признано, что зимние рубки значительно безопаснее, чем лесозаготовки в теплое время года [8, 22].

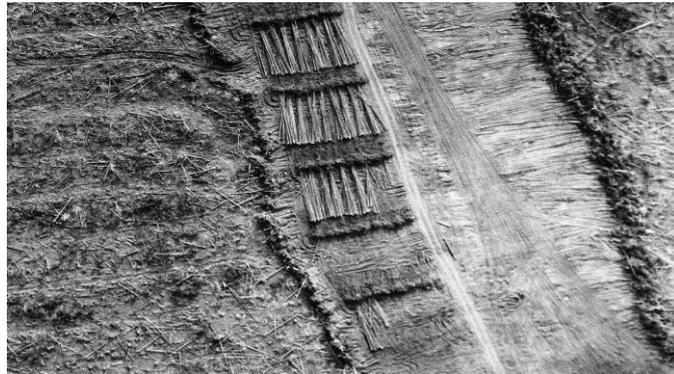


Рис. 1. Лесозаготовки вблизи пос. Светлая на севере Приморского края (в правой части фото – складированный лес, в левой – брошенная древесина). Фото И.С. Селезнева. 1990 г.

Воздействие на почву выражается в снижении плодородия, почвенной эрозии, изменении физических свойств.

Снижение плодородия почвы объясняется тем, что основная масса биогенных веществ находится в деревьях и при вырубке удаляется. После вырубке лесов почвы подвергаются воздействию прямых солнечных лучей и сильных дождей. В почвах влажных тропиков отмечается дефицит фосфора и калия, в сухих тропиках – азота. Изменяются соотношение углерод – азот, pH и концентрация способных к обмену оснований [11, 28].

Эрозия почв провоцируется нарушением почвенно-растительного слоя при трелевке леса (рис. 2). Интенсивность смыва в первые два года после вырубке на склонах крутизной 10...20° достигает сотен кубометров с 1 га. Основные потери почв наблюдаются в первые 5...6 лет [9].

Главными нарушениями физических свойств почв являются изменения их плотности, пористости, коэффициента фильтрации [14].

Исследования, проведенные в штате Вашингтон (США), показали, что уплотнение почвы при пробуксовывании машин снижает ее фильтрационные свойства на 92 %, микроскопические поры уменьшаются на 53 %, плотность увеличивается на 35 % [18].



Рис. 2. Эрозия почв в верховьях р. Максимовки (Приморский край), обусловленная трелевкой древесины. Фото А.М. Паничева. 2005 г.

Влияние на животный мир обусловлено сложностью связей в экосистемах, когда небольшие изменения могут привести к непредвиденным последствиям. Например, так называемые ключевые виды растений играют особую, иногда не совсем понятную роль в экосистемах. Вырубка таких деревьев нередко приводит к катастрофическим последствиям для фауны [6]. Также в период лесозаготовок увеличиваются охота и рыболовство, в том числе браконьерскими способами.

Влияние на поверхностные воды выражается в увеличении высоты паводков на реках и усилении маловодья в межень [4]. Воздействие на атмосферу вызвано загрязнением воздуха от работающей техники [16].

Гибель людей обусловлена следующими основными причинами: несчастные случаи; отравления ядохимикатами, применяемыми для борьбы с вредителями. Например, в лесной отрасли США (количество работников 86 тыс. чел.) в 2008 г. вследствие несчастных случаев погибло 93 чел. [25]. Почти все случаи отравления людей связаны с применением фосфорорганических инсектицидов [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берриман А. Защита леса от насекомых-вредителей. М.: Агропромиздат, 1990. 288 с.
2. Бочарников В.Н. Биоразнообразие: оценка и сохранение на базе ГИС-технологий. Владивосток: Дальнаука, 1998. 288 с.
3. Вавилова Е.В. Экономическая и социальная география мира. М.: Гардарики, 2003. 175 с.
4. Геоэкологические принципы проектирования природно-технических геосистем. М.: Ин-т географии АН СССР, 1987. 322 с.

5. *Говорушко С.М.* Энергия биомассы: направления использования и экологические проблемы // *Альтернативная энергетика и экология*. 2011. № 3. С. 48–51.
6. *Голубев Г.Н.* Геозкология. М.: Аспект-Пресс, 2006. 288 с.
7. *Горшков С.П.* Концептуальные основы геозкологии. М.: Желдориздат, 2001. 592 с.
8. *Ковалев А.П.* Эколого-лесоводственные основы рубки в лесах Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2004. 267 с.
9. *Литвин Л.Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига, 2002. 255 с.
10. *Мельников Е.С., Беляева Н.В.* Динамика текущего прироста в сосновых и еловых древостоях после комплексного ухода за лесом // *Лесн. журн.* 2008. № 1. С. 56–64. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Мирзаханова З.Г., Нарбут Н.А.* Экологические функции ландшафтов // *Вестн. КрасГАУ*. 2008. № 4. С. 119–122.
12. *Набатов Н.М.* Лесоводство. М.: Изд-во МГУЛ, 1997. 188 с.
13. *Окружающая среда: энциклопед. словарь-справ.* М.: Прогресс, 1999. Т. 2. 304 с.
14. *Росновский И.Н.* Оценка воздействия лесозаготовительной техники на почвы лесных экосистем // *Экологическая экспертиза*. 1999. № 6. С. 2–29.
15. *Россия и страны мира*. М.: Росстат, 2008. 361 с.
16. *Семенов А.М.* Влияние трелевочных систем на состояние окружающей среды // *Состояние и проблемы непрерывного экологического образования и охраны окружающей среды*. Архангельск: Изд-во ПГУ, 2001. С. 158–159.
17. *Семенова-Тян-Шанская А.М.* Мир растений и люди. Л.: Наука, 1986. 174 с.
18. *Спурр С.Г., Барнес Б.В.* Лесная экология. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 477 с.
19. *Татаринов К.П.* Экология и сплошнолесосечные рубки // *Экологические основы рационального лесопользования в Среднем Поволжье*. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2002. С. 83–85.
20. *Тепляков В.К.* Глобальная роль лесов и лесное хозяйство России: краткий очерк // *Стандарты и качество*. 1998. № 5. С. 15–20.
21. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор) / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих, С.П. Титов, А.И. Уткин, А.А. Голуб, Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников. М.: Центр экологической политики России, 1995. 155 с.
22. *Bock M.D., Van Rees K.C.J.* Forest harvesting impacts on soil properties and vegetation communities in the Northwest Territories // *Canadian Journal of Forest Research*. 2002. Vol. 32, is. 4. P. 713–724.
23. *Deconchat M.* Effects of logging techniques on the soil surface // *Annals of Forest Science*. 2001. Vol. 56, is. 6. P. 653–661.
24. <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS>
25. <http://en.wikipedia.org/wiki/Logging>
26. http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forestdrom/russian/foreword_ru.htm
27. http://www.treeland.ru/article/garden/oaky/leca_mira.htm
28. *Schmidt M.G., Macdonald S.E., Rothwell R.L.* Impacts of harvesting and mechanical site preparation on soil properties of mixed-wood boreal forest sites in Alberta // *Canadian Journal of Soil Science*. 1996. Vol. 76, is. 4. P. 531–540.
29. *State of the World's Forests*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. 164 pp.
30. *World Resources*. 1990–1991. N.Y., Oxford: Basic Book Inc. 1990. Vol. XII. 383 p.

Поступила 24.04.11

Environmental Consequences of Logging

S.M. Govorushko, Doctor of Geography, Principal Researcher

Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Radio, 7, Vladivostok, Russia, 690041;
Far Eastern Federal University, Suhanova, 8, 690650, Vladivostok, Russia
E-mail: sgovor@tig.dvo.ru

Logging is a very widespread practice which, like any other type of economic activity, has a negative impact on the environment. The article aimed to reveal the nature of these effects. The objectives of this paper were to determine the impact categories of this activity, identify natural components particularly susceptible to its impact and determine the main causes of human mortality during logging.

The impacts of logging on the environment can be classified in three categories: (1) taking matter out of nature; (2) introduction of alien matter and energy; and (3) transformation and redistribution of matter in the nature.

Logging affects the following natural components: vegetation; soils; fauna; surface waters; and atmospheric air. Moreover, it is not uncommon for this activity to cause human death.

The impact on vegetation is mainly defined by undergrowth preservation. Transportation of one tree causes death or serious damage of two trees. Clear cutting is more disturbing to vegetation diversity than gradual or selective cutting. Logging is much safer in winter than during the frost-free season.

The impacts on soils are as follows: fertility decline; soil erosion; and change in physical qualities. Fertility decline is explained by the fact that most of the biogenic matter is stored in trees and disappears when the trees are cut. After logging, the soils are exposed to direct sun and heavy rains. The soils of humid tropics experience a deficit of phosphorus and potassium, while dry tropics lack nitrogen. In addition, the carbon–nitrogen balance, pH, and concentration of exchangeable bases undergo changes.

Soil erosion is provoked by topsoil disturbance during skidding. During the first two years after logging, washout intensity reaches hundreds of cubic metres per hectare on slopes of 10–20°. Main losses of soils occur within the first 5–6 years.

Physical qualities of soil are mainly affected by changes in its density, porosity, and filtration factor.

Impacts on animals are determined by the complexity of ecosystem connections, when minor changes can lead to unpredictable results. For instance, so-called keystone species play unique, sometimes unclear, roles in ecosystems. Logging of such species can lead to catastrophic consequences for the fauna. Furthermore, we can observe intensified hunting and fishing, including poaching, in the areas where logging is taking place.

Surface waters are affected through increase in seasonal flood levels of rivers and lack of water during other seasons. The atmosphere is polluted by the exhaust of working machinery.

Human deaths are connected with accidents, and intoxication caused by chemicals used for pest control. Almost all the cases of poisoning are connected with organophosphate insecticides.

Keywords: logging, forest, wood, globe, natural components, human mortality.

REFERENCES

1. Berriman A. *Zashchita lesa ot nasekomykh-vrediteley* [Protecting Forests from Insect Pests]. Moscow, 1990. 288 p.
2. Bocharnikov V.N. *Bioraznoobrazie: otsenka i sokhranenie na baze GIS-tekhnologiy* [Biodiversity: An Assessment and GIS-Based Conservation]. Vladivostok, 1998. 288 p.
3. Vavilova E.V. *Ekonomicheskaya i sotsial'naya geografiya mira* [Economic and Social Geography of the World]. Moscow, 2003. 175 p.
4. *Geoekologicheskie printsipy proektirovaniya prirodnotekhnicheskikh geosistem* [Geo-Ecological Design Principles for Natural and Engineering Geosystems]. Moscow, 1987. 322 p.
5. Govorushko S.M. Energiya biomassy: napravleniya ispol'zovaniya i ekologicheskie problemy [Biomass Energy: Directions of Use and Environmental Issues]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya*, 2011, no. 3, pp. 48–51.
6. Golubev G.N. *Geoekologiya* [Geo-Ecology]. Moscow, 2006. 288 p.
7. Gorshkov S.P. *Kontseptual'nye osnovy geoekologii* [Conceptual Framework of Geo-Ecology]. Moscow, 2001. 592 p.
8. Kovalev A.P. *Ekologo-lesovodstvennye osnovy rubki v lesakh Dal'nego Vostoka* [Ecological and Silvicultural Foundations of Felling in the Forests of the Far East]. Khabarovsk, 2004. 267 p.
9. Litvin L.F. *Geografiya erozii pochv sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii* [Geography of Farmland Erosion in Russia]. Moscow, 2002. 255 p.
10. Mel'nikov E.S., Belyaeva N.V. Dinamika tekushchego prirosta v sosnovykh i elovykh drevostoyakh posle kompleksnogo ukhoda za lesom [Dynamics of Current Increment in Pine and Spruce Stands after Complex Tending of Forest]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 1, pp. 56–64.
11. Mirzekhanova Z.G., Narbut N.A. Ekologicheskie funktsii landshaftov [Ecological Functions of Landscapes]. *Vestnik KrasGAU*, 2008, no. 4, pp. 119–122.
12. Nabatov N.M. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, 1997. 188 p.
13. *Okruzhayushchaya sreda. Entsikloped. slovar'-sprav.* [Environment. Encyclopedic Dictionary]. Moscow, 1999. Vol. 2. 304 p.
14. Rosnovskiy I.N. Otsenka vozdeystviya lesozagotovitel'noy tekhniki na pochvy lesnykh ekosistem [Assessing the Impact of Logging Equipment on Soils of Forest Ecosystems]. *Ekologicheskaya ekspertiza*, 1999, no. 6, pp. 2–29.
15. *Rossiya i strany mira* [Russia and the Rest of the World]. Moscow, 2008. 361 p.
16. Semenov A.M. Vliyanie trelevochnykh sistem na sostoyanie okruzhayushchey sredy [Effect of Skidders on the Environment]. *Sostoyanie i problemy nepreryvnogo ekologicheskogo obrazovaniya i okhrany okruzhayushchey sredy* [The State and Problems of Continuous Environmental Education and Environmental Protection]. Arkhangelsk, 2001, pp. 158–159.
17. Semenova-Tyan-Shanskaya A.M. *Mir rasteniy i lyudi* [The Vegetable Kingdom and People]. Leningrad, 1986. 174 p.
18. Spurr S.G., Barnes B.V. *Lesnaya ekologiya* [Forest Ecology]. Moscow, 1984. 477 p.
19. Tatarinov K.P. Ekologiya i sploshnolesosechnye rubki [Environment and Clear-Cutting]. *Ekologicheskie osnovy ratsional'nogo lesopol'zovaniya v Srednem Povolzh'e*

[Ecological Basis for Sustainable Forest Management in the Middle Volga Region]. Yoshkar-Ola, 2002, pp. 83–85.

20. Teplyakov V.K. Global'naya rol' lesov i lesnoe khozyaystvo Rossii: kratkiy ocherk [The Global Role of Forests and Forestry in Russia: A Brief Outline]. *Standarty i kachestvo*, 1998, no. 5, pp. 15–20.

21. Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.S., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ekologicheskie problemy pogloshcheniya uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya v Rossii (Analiticheskiy obzor)* [Ecological Problems of Carbon Dioxide Absorption by Means of Reforestation and Afforestation in Russia (Analytical Review)]. Moscow, 1995. 155 p.

22. Bock M.D., Van Rees K.C.J. Forest Harvesting Impacts on Soil Properties and Vegetation Communities in the Northwest Territories. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 32, iss. 4, pp. 713–724.

23. Deonchat M. Effects of Logging Techniques on the Soil Surface. *Annals of Forest Science*, 2001, vol. 56, iss. 6, pp. 653–661.

24. <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS>

25. <http://en.wikipedia.org/wiki/Logging>

26. http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/forestdrom/russian/foreword_ru.htm

27. http://www.treeland.ru/article/garden/oaky/leca_mira.htm

28. Schmidt M.G., Macdonald S.E., Rothwell R.L. Impacts of Harvesting and Mechanical Site Preparation on Soil Properties of Mixed-Wood Boreal Forest Sites in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 1996, vol. 76, iss. 4, pp. 531–540.

29. *State of the World's Forests*. Rome, 2011. 164 p.

30. *World Resources. 1990–1991*. New York, Oxford. 1990, vol. XII. 383 p.

УДК 630*561

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАННЕЙ И ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ НА ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

© *В.С. Вернодубенко, канд. с.-х. наук, доц.*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
ул. Шмидта, д. 2, п. Молочное, Вологодская область, Россия, 160555
E-mail: quercus45@mail.ru

Н.А. Дружинин, д-р с.-х. наук, проф.

Вологодская региональная лаборатория Северного научно-исследовательского
института лесного хозяйства, ул. Горького, 83а, г. Вологда, Вологодская область,
Россия, 160014
E-mail: drujinin@mail.ru

Сбор полевого материала производился на пробных площадях, заложенных в осушаемых сосновых насаждениях на почвах верхового и переходного типов заболачивания в Верховажском районе Вологодской области. В кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых сосняках методами дендрохронологии исследовано влияние климатических факторов (температура воздуха и осадки) на формирование клеток ранней и поздней древесины в годичной динамике радиального прироста и на ширину годичных колец сосны.

Установлено, что в исследованных сосновых древостоях, которые произрастают на торфяных почвах верхового и переходного типов заболачивания, количество рядов клеток ранней и поздней древесины синхронно изменяется в соответствии с изменчивостью ширины годичного радиального прироста деревьев. Отмечается высокая синхронность между изменчивостью радиального прироста и изменчивостью количества сформировавшихся рядов клеток. Синхронность характерна как между деревьями внутри типа леса, так и между рассмотренными сосняками. Наибольшая связь между изученными объектами наблюдается в динамике ранней древесины.

Ограничивающие рост деревьев факторы, такие как поверхностное залегание почвенно-грунтовых вод и естественное плодородие торфяных почв, связаны с проявлением климатических и орографических условий произрастания. Они оказывают более существенное влияние на динамику ширины годичных колец, формирование клеток ранней и поздней древесины в древостоях на верховых торфяных почвах по сравнению с переходным типом заболачивания. Вклад климатических параметров в формирование радиального прироста и клеточного строения древесины в сосняках кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых носит сходные черты. При этом значимое влияние оказывают выпадающие осадки, температура воздуха не имеет существенного значения в динамике анатомического строения древесины. Увеличение количества осадков в целом ведет к сокращению прироста и уменьшению количества

клеток как для ранней, так и для поздней древесины. Наибольшее отрицательное влияние оказывает изменчивость накопившихся твердых осадков зимних месяцев.

Ключевые слова: древостой, тип заболачивания, радиальный прирост, индекс прироста, температура, осадки, ряды трахеид ранней и поздней древесины.

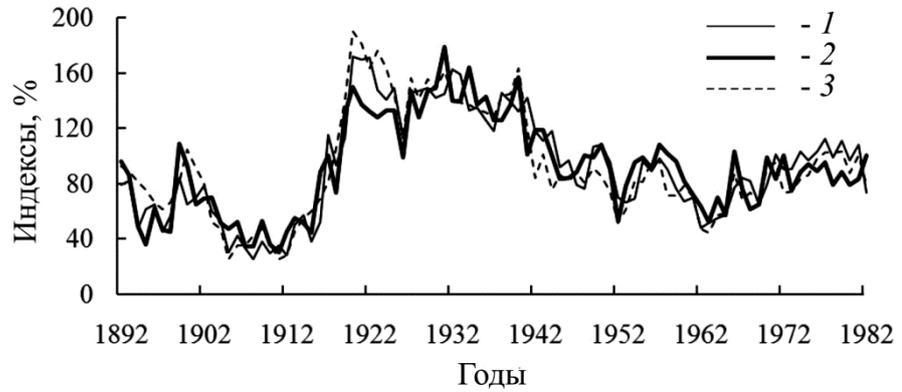
Выявление связи между шириной годичных колец, количеством рядов трахеид ранней и поздней древесины в многолетней динамике и климатическими факторами (осадки, температура окружающей среды) ставилось в задачу исследования. Сбор полевого материала производили на пробных площадях (ПП), заложенных в осушаемых сосновых насаждениях на торфяных почвах верхового (сосняк кустарничково-сфагновый – С. куст.-сф.) и переходного (сосняк осоково-сфагновый – С. ос.-сф.) типов заболачивания в Верховажском государственном лесничестве Вологодской области. Определение морфометрических показателей древостоя сводилось к вычислению состава, бонитета, запаса, сумм площадей сечений, средних высот и диаметров, возраста по общепринятым в лесоводстве и таксации методикам (табл. 1).

Для дендрохронологического анализа использовали срезы от модельных деревьев на высоте 0,65 м. В камеральных условиях их зачищали, шлифовали, маркировали, после чего измеряли ширину годичных колец бинокляром МБС-9. Затем с помощью технического лезвия брали микросрезы древесины, которые накладывали относительно друг друга в соответствии с календарным годом их формирования. На микросрезах подсчитывали количество рядов трахеид ранней и поздней древесины для каждого датированного годичного прироста с использованием микроскопа МБИ-3. В анализ было включено 20 индивидуальных хронологий ширины годичных колец и клеточного строения трахеид с последующей их индексацией от средней динамической нормы [5]. Данная операция позволяет исключить различия в размере годичных колец и количестве рядов трахеид, связанных с возрастными изменениями в росте на разных стадиях онтогенеза, и местоположения деревьев в древостое [2]. На основе индивидуальных хронологий индексов годичных приростов сосны и количества в них рядов трахеид с использованием программы ARSTAN [1, 5] построены обобщенные хронологии и получены их характеристики (рис. 1, табл. 2).

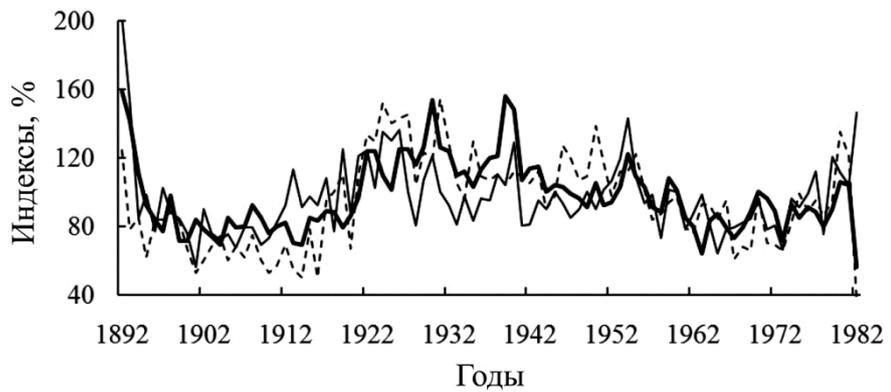
Таблица 1

Таксационная характеристика древостоя

Индекс типа леса	Средние по древостою			Число стволов, шт./га	Полнота	Бонитет	Запас, м ³ /га
	состав (возраст, лет)	диаметр, см	высота, м				
С. куст.-сф.	10С(170)	13,3	8,0	610	0,43	Va	39
С. ос.-сф.	7С(80)2С(220)1Е	20,5	17,0	740	0,80	III	230



a



б

Рис. 1. Динамика ширины радиального прироста, количества рядов трахеид ранней и поздней древесины (индексы) в кустарничково-сфагновом (а) и осоково-сфагновом (б) сосняках: 1 – поздняя древесина, 2 – ранняя древесина, 3 – радиальный прирост

Таблица 2

Характеристики хронологий радиального прироста, количества рядов трахеид ранней и поздней древесины

Индекс типа леса	Чувствительность			Средний коэффициент корреляции			Автокорреляция			Отношение «сигнал/шум»		
	I_t	$I_{р.т.}$	$I_{п.т.}$	I_t	$I_{р.т.}$	$I_{п.т.}$	I_t	$I_{р.т.}$	$I_{п.т.}$	I_t	$I_{р.т.}$	$I_{п.т.}$
С.куст.-сф.	0,22	0,14	0,17	0,54	0,42	0,37	0,60	0,89	0,81	9	4	3
С.ос.-сф.	0,18	0,11	0,16	0,22	0,27	0,19	0,73	0,72	0,47	3	2	1

Примечание: I_t – индекс прироста; $I_{р.т.}$ – индекс количества рядов трахеид ранней древесины; $I_{п.т.}$ – индекс количества рядов трахеид поздней древесины.

Чувствительность и синхронность радиального прироста и трахеидограмм позволяет оценивать относительные различия в ширине и количестве рядов трахеид соседних колец и степени воздействия общих факторов среды по отношению к рассматриваемым временным рядам [3, 4]. Серии считают чувствительными, когда данный показатель превышает 0,3 [2].

Изменчивость годовых индексов прироста и числа рядов трахеид в их многолетней динамике небольшая (табл. 2). Средние значения коэффициента чувствительности внутри типов леса находятся в пределах от 0,11 до 0,22. Синхронность между индивидуальными сериями, слагающими обобщенные древесно-кольцевые хронологии, характеризуется как средняя. Наибольшее ее значение выявлено в сосняке кустарничково-сфагновом.

Годы с экстремальными значениями совпадают, что указывает на действие общего «сигнала». Однако внутри синхронность между этими значениями в ряде случаев не совпадает с незначительным сдвигом, что вызвано неравнозначностью и неравноценностью действия факторов внешней среды на рост насаждений, так называемым «шумом» [4]. Отношение «сигнал/шум» позволяет выявлять существенность пригодности данных для дендрохронологического исследования. Превосходство действия общего сигнала над неравнозначностью и неравноценностью действующих факторов на формирование и строение радиального прироста в сосняке кустарничково-сфагновом достигает 3–9-кратной величины (табл. 2).

При сдвиге временных рядов в хронологиях относительно друг друга на несколько лет сохраняется высокая связь между исследованными сериями, выраженная коэффициентами автокорреляции. Исходя из этого, деревья сосны обладают значительной инерционностью при формировании прироста и количества рядов трахеид.

Между индексами количества рядов трахеид ранней и поздней древесины внутри древостоя, наряду с синхронностью, прослеживается наличие значительной и высокой связи (табл. 3). Показатель этой связи выше, чем при рассмотрении хронологий строения годичных колец по ранней и поздней древесине в отдельности (см. табл. 2). Данная закономерность отмечена и между типами леса, хотя она уменьшается. Наибольшее ее значение (связь значительная) наблюдается между объектами по ранней древесине ($r = 0,53$), умеренная ($r = 0,33$) – по количеству рядов трахеид поздней древесины.

Таблица 3

Анализ корреляционных связей

Индекс типа леса	Коэффициенты корреляции (r) и их достоверность (t_r)					
	между индексами количества рядов трахеид ранней и поздней древесины деревьев внутри древостоя		между хронологиями типов леса по индексам количества рядов трахеид древесины			
			ранней		поздней	
	r	t_r	$r_{р.т.}$	$t_{r п.т.}$	$r_{п.т.}$	$t_{r п.т.}$
С. куст.-сф.	0,57	8,1	0,53	6,6	0,33	3,3
С. ос.-сф.	0,84	28,0				

Таблица 4

Индекс типа леса	Доля дисперсии	Связь индексов градиентограмм с температурой воздуха											
		Коэффициенты корреляции между месячными (I – XII) температурами воздуха и индексами рядов трахеид за предыдущий год						за текущий год					
		IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Ранняя древесина													
С. куст.-сф.	0,18	-0,01	-0,07	0,08	-0,14	0,06	0,10	-0,09	-0,24	-0,17	-0,02	0,14	0,23
С. ос.-сф.	0,26	-0,19	-0,20	0,19	-0,01	0,22	0,19	0,21	-0,04	-0,05	0,25	0,09	0,15
Поздняя древесина													
С. куст.-сф.	0,11	-0,20	-0,08	0,17	0,02	0,06	0,11	0,09	0,07	0,11	-0,11	0,00	0,04
С. ос.-сф.	0,23	-0,12	-0,07	0,19	-0,02	0,13	0,06	0,15	0,01	0,11	-0,22	0,22	0,24
Ширина радиального прироста													
С. куст.-сф.	0,34	0,13	0,02	-0,15	-0,24	-0,35	-0,06	0,02	-0,22	0,02	0,08	0,18	0,21
С. ос.-сф.	0,28	0,09	0,03	-0,17	0,28	0,02	0,23	-0,06	-0,10	0,16	0,01	0,00	0,22

Примечание. Здесь и далее, в табл. 5, жирным шрифтом выделены достоверные значения.

При установлении зависимости между температурой окружающей среды (метеостанция Семеново – 190 км от объекта наблюдения), индексами прироста, количеством рядов трахеид ранней и поздней древесины в изучаемых сосняках получены низкие коэффициенты корреляции, указывающие на слабую связь (табл. 4). Следовательно, температурный режим окружающей среды не оказывает значимого влияния на формирование рассматриваемых структур годичных колец.

При сравнительном анализе хронологий с осадками (анализируемый период – 62 года) было установлено, что связь радиального прироста с количеством выпадающих осадков имеет большее значение по сравнению с температурным режимом (табл. 4, 5). Коэффициенты корреляции в рассматриваемых примерах достоверны при доверительной вероятности $P = 0,05$ ($r > 0,30$).

Для кустарничково-сфагнового типа леса установлена отрицательная умеренная зависимость прироста деревьев от суммы осадков января ($r = -0,35$). Связь количества рядов клеток ранней древесины с осадками зимнего времени (январь-февраль) и августа отрицательная ($r = -0,30 \dots 0,33$). При суммировании осадков января и февраля наблюдается повышение коэффициента корреляции ($r = 0,41$). Для поздней древесины получена отрицательная умеренная зависимость с увеличением суммы осадков августа ($r = -0,31$).

Следует отметить, что на отложение ранней древесины оказывают положительное влияние ранневесенние жидкие осадки ($r = 0,30$). По-видимому, увеличение выпадающих осадков в мае способствует более быстрому оттаиванию почв, так как мерзлая прослойка в торфе фиксировалась нами вплоть до начала июля.

Таблица 5

Связь индексов трахеидограмм с осадками

Индекс типа леса	Доля дисперсии	Коэффициенты корреляции между месячными (I – XII) осадками и индексами рядов трахеид за предыдущий год											
		IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
С. куст.-сф. С. ос.-сф.	0,35 0,21	0,17	0,17	-0,01	-0,19	-0,33	-0,30	0,00	0,21	0,30	0,15	0,10	-0,31
		0,06	-0,01	-0,15	-0,25	-0,35	0,10	-0,09	0,00	0,09	0,05	0,15	0,21
С. куст.-сф. С. ос.-сф.	0,22 0,31	0,00	0,01	-0,12	0,05	0,13	-0,19	-0,03	-0,10	-0,16	-0,23	0,10	-0,31
		0,22	0,23	0,01	-0,16	-0,06	0,04	0,21	-0,05	-0,08	0,15	0,04	-0,36
С. куст.-сф. С. ос.-сф.	0,34 0,28	0,13	0,02	-0,15	-0,24	-0,35	0,02	0,02	-0,22	0,02	0,08	0,18	0,21
		0,09	0,03	-0,17	0,28	0,02	0,23	-0,06	-0,10	0,16	0,01	0,00	0,22

Ранняя древесина

Поздняя древесина

Ширина радиального прироста

При анализе связей прироста сосны с осадками (табл. 5) в осоково-сфагновом типе леса имеются черты как сходства, так и различия с рассмотренным выше объектом. На формирование годичных приростов также оказывают влияние осадки зимних (декабрь) месяцев ($r = -0,28$). На количество рядов ранней древесины отрицательно влияет сумма осадков января ($r = -0,35$). Слабая связь прослеживается в отложении поздней древесины с месячными осадками, хотя доля дисперсии достигает 0,31.

Выводы

1. В исследованных сосняках, произрастающих на торфяных почвах верхового и переходного типов заболачивания, количество рядов клеток ранней и поздней древесины синхронно изменяется в соответствии с изменчивостью ширины годичного радиального прироста.

2. Высокая синхронность между радиальным приростом и индексами трахеидограмм характерна для деревьев внутри типа леса и между рассмотренными сосняками кустарничково-сфагновыми и осоково-сфагновыми. Наибольшая связь между объектами наблюдается в динамике ранней древесины.

3. Лимитирующие факторы, такие как поверхностное залегание почвенно-грунтовых вод и естественное плодородие торфяных почв, связанные с проявлением климатических и орографических условий, оказывают более существенное влияние на динамику ширины годичных колец, формирование трахеид ранней и поздней древесины в древостоях на верховых торфяных почвах по сравнению с переходным типом заболачивания.

4. Влияние климатических параметров на формирование радиального прироста и клеточное строение древесины в сосняках кустарничково-сфагновых и осоково-сфагновых имеет сходные черты. При этом значимое влияние оказывают выпадающие осадки. Температура воздуха не имеет существенного значения в динамике анатомического строения древесины.

5. Увеличение количества осадков ведет к сокращению радиального прироста и уменьшению количества клеток как ранней, так и поздней древесины. Наибольшее отрицательное влияние оказывает сумма осадков зимних месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мазена В.С.* Пространственно-временная изменчивость радиального прироста хвойных видов деревьев в субарктических районах Евразии: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Екатеринбург, 1998. 38 с.
2. *Шиятов С.Г.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 137 с.
3. *Douglass A.E.* Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie Inst., 1936. Vol. 3. 171 p.
4. *Holmes R.L.* Dendrochronology Program Library – User's Manual. Tucson, Arizona, 1994. (Электронная версия).
5. *Huber B.* Über die Sicherheit Jahrring-chronologischer Datierung // Holz Rohund Werkst. 1943. Jg.6, H.10/12. S. 263–268.

Поступила 13.10.11

Formation of Early and Late Pine Wood on Peat Soils

V.S. Vernodubenko, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Schmidta, 2, 160555, Molochnoe, Vologda Region, Russia
E-mail: quercus45@mail.ru

N.A. Druzhinin, Doctor of Agriculture, Professor

Vologda Regional Laboratory, Northern Research Institute of Forestry, Gorkogo, 83a, 160014 Vologda, Russia
E-mail: drujinin@mail.ru

Field data was collected on sample plots in drained pine stands on the soils of upland and transitional bogs in Verkhovazhsky district, Vologda Region. Using dendrochronological methods, we studied the effect of climatic factors (air temperature and precipitation) on the number of cell layers of early- and latewood in the annual dynamics of radial growth as well as on the width of rings in shrub-sphagnum and sedge-sphagnum pine forests.

We revealed that in these pine stands, growing on the peat soils of upland and transitional bogs, the number of cell layers of early- and latewood changed synchronously with the width of the annual radial growth of trees. This synchronism is observed both among the trees

within each forest type and between the two types of pine forests under consideration. The most distinct connection between the objects under study is seen in the earlywood dynamics.

The factors limiting the growth of trees, such as surface accumulation of groundwater and the natural fertility of peat soils, are connected with climatic and orographic conditions. They have a more considerable effect on the annual rings width dynamics, formation of early- and latewood cells in the stands on upland peat soils than those growing on transitional bogs. Climate factors have a similar influence on the radial growth and cellular structure of wood in shrub-sphagnum and sedge-sphagnum pine forests. At the same time, significant effect is produced by precipitation while air temperature is of no importance to the dynamics of the wood anatomical structure. In general, more precipitation leads to a decrease in the increment size and fewer cells, both in case of early- and latewood. The greatest negative effect is produced by the changeability of solid precipitation accumulated during winter.

Keywords: forest stand, bog type, radial growth, growth rate, temperature, precipitation, tracheid layer, earlywood, latewood.

REFERENCES

1. Mazepa V.S. *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' radial'nogo prirosta khvoynykh vidov derev'ev v subarkticheskikh rayonakh Evrazii: avtoref. diss. ... dok. biol. nauk* [Spatio-Temporal Variability of Radial Growth of Conifers in the Sub-Arctic Regions of Eurasia: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Yekaterinburg, 1998. 38 p.
 2. Shiyatov S.G. *Dendrokronologiya verkhney granitsy lesa na Urale* [Dendrochronology of the Upper Boundary of the Forest in the Urals]. Moscow, 1986. 137 p.
 3. Douglass A.E. *Climatic Cycles and Tree-Growth. A Study of the Annual Rings of Trees in Relation to Climate and Solar Activity*. Washington, 1936, vol. 3. 171 p.
 4. Holmes R.L. *Dendrochronology Program Library – User's Manual*. Tucson, Arizona, 1994.
 5. Huber B. *Über die Sicherheit Jahrring-chronologischer Datierung. Holz Rohund Werkst*, 1943, Jg. 6, H.10/12, pp. 263–268.
-

УДК 630*22

СТРУКТУРА ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ЗЮРАТКУЛЬ»

© П.И. Назмиев, ассист.

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт,
д. 36, г. Екатеринбург, Россия, 620100
E-mail: NaPaIch@mail.ru

На территории национального парка «Зюраткуль» сохранились остатки реликтового ельника высокой продуктивности, которые входят в состав памятников природы и являются самым крупным генетическим резерватом естественного генетического потенциала ели сибирской в западном подрайоне горно-лесного района Челябинской области.

Цель работы – изучение современного состояния не тронутых хозяйственной и рекреационной деятельностью высокогорных еловых древостоев Южного Урала.

При изучении структуры древостоев основное внимание уделялось характеру распределения таксационных показателей в зависимости от типа леса. С учетом этого группировались данные статистической обработки.

Полученные данные свидетельствуют, что структура распределения исследуемых древостоев по диаметру отличается высокой изменчивостью диаметров стволов. Коэффициент варьирования диаметров доходит до 52,50 %. В большинстве исследуемых древостоев асимметрия рядов распределения ели по диаметру положительная (+1,04). Коэффициент эксцесса ели по диаметру варьирует в пределах от –0,22 до +1,52, средняя высота еловых древостоев – от 14,9 до 23,6 м. Коэффициент вариации высоты не превышает 9,83 %. Во всех типах леса между диаметрами и высотами деревьев наблюдается достаточно тесная связь – коэффициент детерминации находится в пределах от 0,47 до 0,94 %. Распределение деревьев ели по показателю относительной высоты изменяется в зависимости от типа леса и составляет 92...126.

Результаты аппроксимации распределений числа стволов по толщине показали, что ельнику кисличному, ельнику разнотравному и ельнику логу наиболее соответствует логарифмически нормальное распределение; ельнику долгомошному – распределение Вейбулла.

Тип возрастной структуры на всех пробных площадях – разновозрастный. Амплитуда возраста 40...220 лет при среднем возрасте, не превышающем интервал колебания. Асимметрия рядов распределения ели по возрасту составляет от –1,08 до +0,86.

В национальном парке «Зюраткуль», в прибрежной зоне одноименного озера, характерным является формирование чистых и смешанных коренных ельников.

В качестве примеси участвуют береза и лиственница, численность которых достигает до 4 ед. при различном соотношении пород. Производительность высокогорных ельников низкая. Древостои характеризуются в среднем IV классом бонитета.

Ключевые слова: структура, ель, национальный парк «Зюраткуль», высокогорные леса, распределение, аппроксимация.

Согласно лесорастительному районированию Челябинской области [4], территория национального парка «Зюраткуль» относится к Катавско-Златоустовскому округу Южно-Уральской провинции горно-таежных лесов Уральской горно-лесной лесорастительной области.

Объект исследований территориально расположен в полосе западных хребтов Южного Урала. Основной чертой орографии является вытянутость в северо-восточном направлении большей части хребтов, часто образующих параллельные между собой цепи. Рельеф отличается сложностью и наличием ряда горных хребтов (Нургуш, Зюраткуль, Уреньга, Москаль и др.).

Оз. Зюраткуль расположено в горной котловине, окруженной хребтами Уреньга, Зюраткуль, Москаль, Нургуш и горой Лукаш (1013,6 м) на высоте 724 м над уровнем моря.

Климат Зюраткульской котловины суровый. Зимний сезон начинается на 1-2 нед. раньше и заканчивается на 1-2 нед. позже, чем в лесостепной зоне Челябинской области. Летом и осенью часты туманы, дуют холодные ветры. Зюраткуль самое дождливое место на Южном Урале, годовая сумма осадков доходит до 760,2 мм, на вегетационный период приходится до 563,9 мм [1].

Другой особенностью объекта исследований является его расположение на береговой зоне оз. Зюраткуль. Озеро зарегулировано плотиной, поэтому уровень воды в озере искусственно меняется в связи с подачей ее в г. Сатка.

Цель и методика исследований

Целью работы является изучение современного состояния нетронутых хозяйственной и рекреационной деятельностью высокогорных еловых древостоев Южного Урала и особенностей естественных возобновительных процессов в них.

Исследования проводились по общепринятым лесоводственно-таксационным методикам, в основу которых положен метод пробных площадей (ПП). Все ПП закладывались и обрабатывались согласно методике, принятой в лесоустройстве, с учетом требований и технических указаний [3, 6].

Результаты исследований

В ходе эксперимента заложено 8 ПП в урочище «Долгий ельник» и взято для анализа хода роста 12 модельных деревьев. Характеристика древостоев на ПП представлена в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев на пробных площадях

№ ПП	Тип леса	Возраст (a), лет	Состав	Средние		Класс бонитета	Полнота		Запас, м ³ /га
				высота (h), м	диаметр (d), см		абсолютная, м ² /га	относительная	
1	Ек	76	10Е	21,8	23,8	II	32,2	0,9	280
2	Ертр	170	10Е	16,8	22,0	V	24,6	0,8	146
3	Ертр	170	10Е	14,3	18,8	V	26,3	1,0	180
4	Елог	85	7ЕЗБ+Л	20,1	22,7	III	34,4	1,0	162
5	Ек	96	7ЕЗБ	22,5	21,5	III	39,8	1,2	221
6	Елог	117	7ЕЗБ+Л	20,2	18,9	IV	33,9	1,1	133
7	Ертр	127	6Е4Б	15,6	17,1	V	31,5	1,2	101
8	Ед	116	7ЕЗБ	24,0	28,3	III	49,7	1,4	478

Примечания. 1. Возраст, высота, диаметр, класс бонитета и запас взяты по главной породе. 2. Здесь и далее, в табл. 2 и 3, Ек – ельник кисличный, Ертр – ельник разнотравный, Елог – ельник лог, Ед – ельник долгомошный.

При изучении структуры древостоев основное внимание уделялось характеру распределения таксационных показателей в зависимости от типа леса. Исходя из этого группировались данные статистической обработки.

Результаты статистической обработки данных измерения основных таксационных показателей (диаметр, высота и возраст) приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что структура распределения исследуемых древостоев по диаметру стволов отличается высокой изменчивостью диаметров. Коэффициент варьирования диаметров доходит до 52,5 % в ельнике кисличном. Это связано с наименьшим средним возрастом ельников кисличных относительно остальных исследуемых древостоев. В большинстве исследуемых древостоев асимметрия рядов распределения ели по диаметру положительная и достигает +1,04, распределение деревьев в ельнике долгомошном имеет отрицательную асимметрию. Коэффициент эксцесса ели по диаметру варьирует в пределах от –0,22 до +1,52.

Для исследуемых ельников характерна сложная форма строения древостоев по высоте. Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют, что изменчивость средних высот высока и зависит от типа леса. Средняя высота еловых древостоев колеблется от 14,9 до 23,6 м. Коэффициент вариации высоты не превышает 9,83 %, что соответствует литературным источникам, где варьирование высот характеризуется коэффициентом 5...12 %, и, согласно А.В. Тюрину [9], отражает низкую изменчивость признака. Практически во всех типах леса распределение высоты древостоев представлено асимметричными кривыми с умеренно выраженной косостью, изменяющейся в пределах от –0,54 до +0,57.

Таблица 2

Основные статистические характеристики распределения количества деревьев ели по диаметру, высоте и возрасту в различных типах леса

Статистическая характеристика	Значение характеристики для различных типов леса											
	Ек			Ерп			Елп			Ед		
	d, см	h, м	a, лет	d, см	h, м	a, лет	d, см	h, м	a, лет	d, см	h, м	a, лет
Среднее	19,9	21,0	95,00	18,0	14,9	143,0	19,2	19,3	96,0	26,7	23,6	117,0
Стандартное отклонение	10,47	1,14	18,90	7,35	1,46	35,1	7,76	1,56	17,60	9,49	0,99	31,00
Коэффициент: экссесса	0,22	-0,49	-0,65	0,02	0,16	-0,48	1,52	-0,85	-1,23	-0,22	-0,80	3,75
аспльметрии	0,88	0,54	0,58	0,71	0,43	-0,43	1,04	-0,54	0,86	-0,33	0,57	-1,08
вариации, %	52,46	5,44	19,80	41,01	9,83	24,5	40,50	8,08	18,40	35,59	4,22	26,40
Точность опыта, %	2,81	0,80	6,61	1,72	1,18	6,13	2,45	1,19	5,82	2,81	0,17	9,35

Кривые распределения деревьев по высоте в древостоях большинства исследуемых типов леса характеризуются отрицательными значениями эксцесса, что объясняется биологическими свойствами ели, в частности высокой ее теневыносливостью. Только в ельнике разнотравном коэффициент эксцесса положительный и равен 0,16.

Характер зависимости диаметра от высоты позволяет отметить следующее. В ельнике кисличном связь высоты и диаметра деревьев на всем протяжении роста выражается прямой линией, соотношение этих показателей – величина постоянная. Прямолинейная пропорциональность означает слабые конкурентные отношения между деревьями. Относительная полнота в данном типе леса 0,9...1,2. В остальных исследуемых типах леса связь диаметра и высоты деревьев криволинейная. Как было отмечено выше, с повышением конкурентных отношений наблюдается закономерное увеличение густоты и полноты древостоев. Этим объясняется нарушение изометрии роста. Относительная полнота достигает до 1,4. Следует отметить, что во всех типах леса между диаметрами и высотами деревьев наблюдаются достаточно тесные связи – коэффициент детерминации R^2 варьирует от 0,47 до 0,94 %.

При решении задач описания структуры древостоя всегда уделялось большое внимание поиску аналитических выражений, позволяющих аппроксимировать ряды распределения деревьев по ступеням толщины [2, 8]. При изучении разновозрастных еловых древостоев закономерность в распределении общего числа деревьев по ступеням толщины чаще всего описывается ниспадающей кривой с максимумом числа деревьев в самой тонкой ступени толщины, представленной подростом. По вилам лесной таксации каждое возрастное колено должно изучаться отдельно, поэтому проведено разделение совокупностей подростка и древостоя методами статистического анализа

по алгоритму К. Пирсона [7] с использованием программного обеспечения STATISTICA 6.0. Использование данного анализа вызвано невозможностью объективного выделения однородных возрастных поколений в условиях сбора полевого материала. В исследуемых разновозрастных древостоях по морфологическим признакам деревьев не было возможности установить принадлежность того или иного дерева к определенному возрастному поколению. Полученные данные аппроксимации сведены в табл. 3.

Анализ данных распределения числа стволов по толщине (табл. 3) показал, что для ельника кисличного, ельника разнотравного и ельника лога наиболее соответствует логарифмически нормальное распределение; для ельника долгомошного – распределение Вейбулла.

Дифференциация деревьев и конкурентные взаимоотношения наиболее полно оцениваются при помощи относительной высоты h/d . На рисунке представлено распределение деревьев ели по относительной высоте в исследуемых типах леса. Как видно из рисунка, относительная высота варьирует очень сильно. В насаждениях встречаются сбежистые (h/d колеблется от 66 до 100) и полнодревесные ($h/d > 100$) экземпляры. Деревья с низкой относительной высотой более развиты, деревья, имеющие высокие значения h/d , – тонкомерные особи.

Относительная высота древостоев варьирует от 92 до 126 в зависимости от типа леса. На большинстве ПП этот показатель превышает значение 100. Это свидетельствует о том, что степень напряженности конкурентных взаимоотношений в исследуемых древостоях выше, чем в нормальных ельниках соответствующего класса бонитета [5].

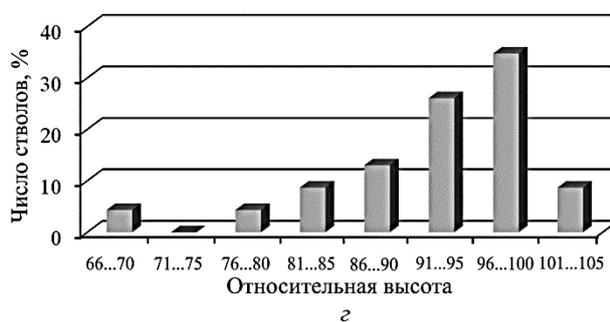
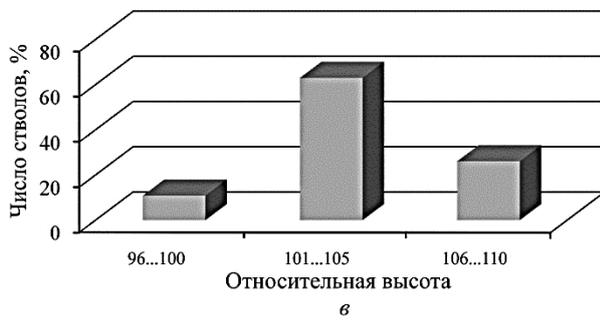
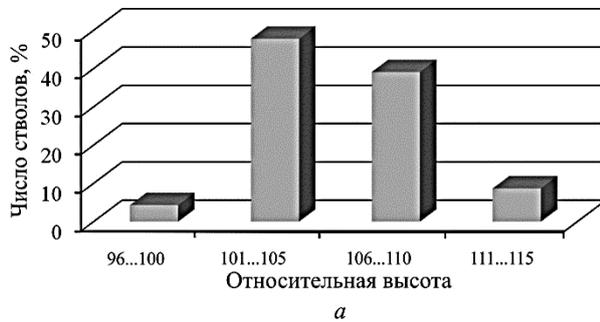
Таблица 3

Результаты аппроксимации (уровень значимости 0,05)

Распределение	Критерий хи-квадрат*	Значение критерия для различных типов леса			
		Ек	Ертр	Елог	Ед
Нормальное	$\chi^2_1/\chi^2_{\text{табл}}$	31,98/11,07	64,99/14,07	40,70/9,49	25,63/9,49
	$\chi^2_2/\chi^2_{\text{табл}}$	6,87/7,81**	19,58/7,81	4,18/7,81**	7,38/7,81**
Логарифмически нормальное	$\chi^2_1/\chi^2_{\text{табл}}$	49,66/12,59	81,44/15,51	16,82/11,07	62,07/11,07
	$\chi^2_2/\chi^2_{\text{табл}}$	1,92/7,81**	2,96/7,81**	2,11/9,49**	15,92/7,81
Вейбулла	$\chi^2_1/\chi^2_{\text{табл}}$	14,32/11,07	14,32/11,07	29,20/11,07	27,86/9,49
	$\chi^2_2/\chi^2_{\text{табл}}$	6,42/7,81**	28,76/7,81	8,27/7,81	6,60/7,81**
Экспоненциальное	$\chi^2_1/\chi^2_{\text{табл}}$	123,92/15,51	45,87/14,07	275,22/15,51	253,06/14,07
	$\chi^2_2/\chi^2_{\text{табл}}$	227,18/12,59	621,98/11,07	259,77/14,07	272,98/12,59

* χ^2_1 – критерий хи-квадрат фактический; χ^2_2 – критерий хи-квадрат после выделения поколений; $\chi^2_{\text{табл}}$ – критерий хи-квадрат табличный.

** Данные, соответствующие выражению $\chi^2 < \chi^2_{\text{табл}}$.



Распределение деревьев ели по относительной высоте (h/d) в различных типах леса: а – Ек, б – Ертр, в – Елог, г – Ед

Распределение деревьев по относительной высоте неравномерное. На наш взгляд, это объясняется различной степенью напряженности роста в зависимости от расположения деревьев на ПП и разновозрастностью древостоев в исследуемых типах леса. Как известно, для определенной возрастной группы характерен соответствующий показатель относительной высоты.

Изучение процесса развития древостоя и формирования его структуры невозможно без предварительного исследования возрастного строения. Возраст древостоя на ПП измеряли по возрастным ядрам и по модельным деревьям. Количество материала не позволяет в полной мере оценить возрастную структуру древостоя, а лишь дает возможность составить представление о некоторых особенностях распределения древостоев по возрасту и условно отнести к определенному типу возрастной структуры. Краткая характеристика некоторых особенностей распределения деревьев по возрасту представлена в табл. 4.

Данные табл. 4 свидетельствуют, что тип возрастной структуры на всех ПП – разновозрастный. Амплитуда возраста составляет от 40 до 220 лет при среднем возрасте, не превышающем интервал колебания. Выявлено, что максимальная изменчивость возраста деревьев ели наблюдается в ельнике долгомошном, где коэффициент вариации 26,4 %. Между ПП наблюдаются некоторые различия в значениях коэффициента вариации возраста деревьев. Снижение этого показателя в ельниках кисличном и лог (при значительной амплитуде изменений возраста), на наш взгляд, связано с особенностями выборки – по типу леса.

Таблица 4

Распределение деревьев по возрасту в разных типах леса

Возраст, лет	Число стволов, %, для разных типов леса			
	Ек	Ертр	Елог	Ед
41...60	–	–	–	5,0
61...80	32,4	6,3	13,0	18,1
81...100	36,0	12,7	50,7	19,4
101...120	20,5	13,3	18,5	20,0
121...140	11,1	13,9	17,8	25,0
141...160	–	15,8	–	12,5
161...180	–	22,2	–	–
181...200	–	9,5	–	–
201...220	–	6,3	–	–
<i>Всего</i>	100	100	100	100

Асимметрия рядов распределения ели по возрасту составляет от $-1,08$ до $0,86$. В ельниках кисличном и лог наблюдается левое смещение кривых распределения по отношению к нормальной, а в ельниках разнотравном и долгомошном – правое. Значения асимметрии свидетельствуют, что на всех пробных площадях форма эмпирических кривых распределения значительно отличается от кривой нормального распределения.

Коэффициент эксцесса в большинстве исследуемых древостоев – отрицательный. Только в ельнике долгомошном данный показатель имеет положительное значение, крутость эмпирической кривой распределения существенно отличается от нормальной кривой. Объясняется данный факт биологической особенностью ели – теневыносливостью. Это в свою очередь приводит к увеличению коэффициента вариации возраста и понижению коэффициента эксцесса.

Приведенные выше материалы свидетельствуют, что исследуемые древостои имеют сложную возрастную структуру, статистические показатели рядов распределения количества деревьев ели по возрасту существенным образом зависят от лесорастительных условий формирования древостоев.

Выводы

В национальном парке «Зюраткуль», в прибрежной зоне одноименного озера, формируются чистые и смешанные коренные ельники. В качестве примеси участвуют береза и лиственница, численность которых достигает до 4 ед.

Производительность высокогорных ельников низкая. Древостои характеризуются в среднем IV классом бонитета. Для доминирующей породы ели характерна высокая изменчивость диаметров стволов ($35,6...52,5$ %) и относительно невысокая изменчивость их высоты ($4,2...9,8$ %). Прослеживается тесная связь диаметра ствола с высотой, коэффициент детерминации данного признака варьирует от $0,47$ до $0,93$.

Ельники исследуемого региона представлены разновозрастным типом возрастной структуры без ярко выраженных возрастных поколений. Амплитуда возраста составляет от 40 до 220 лет при среднем возрасте, не превышающем интервал колебания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горное сердце края. Исторические, культурные, природные достопримечательности Саткинского района. Челябинск: Изд-во «Рифей», 1994. 199 с.
2. Дыренок С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 174 с.
3. Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. М., 1995. Ч. 1. 176 с.
4. Колесников Б.П. Леса Свердловской и Челябинской областей // Леса СССР. М.: Изд-во «Наука», 1969. Т. 4. 530 с.
5. Кузьмичев В.В. Эколого-ценотические закономерности роста одновозрастных основных древостоев. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1977. 31 с.

6. *Нагимов З.Я., Коростелев И.Ф., Шевелина И.В.* Таксация леса: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 300 с.

7. *Никитин К.Е., Швиденко А.З.* Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 270 с.

8. *Оскорбин П.А., Вайс А.А.* Динамика пространственной структуры темнохвойных древостоев Западной Сибири//Лесн. журн. 2009. № 1. С. 21–28. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. *Тюрин А.В.* Основы вариационной статистики в применении к лесоводству. М.: Гослесбумиздат, 1961. 103 с.

Поступила 05.06.12

The Structure of Dark Coniferous Forests of Zyuratkul National Park

P.I. Nazmiev, Teaching Assistant

The Ural State Forest Engineering University, Sibirsky Trakt, 36, 620032, Yekaterinburg, Russia
E-mail: NaPaIch@mail.ru

According to the available data, in Zyuratkul National Park there have been preserved remains of a highly productive relict spruce forest, which is one of the natural monuments and the largest reserve of natural genetic potential of Siberian spruce in the western subarea of the mountain forest part of Chelyabinsk Region.

The paper aimed to study the current state of the pristine alpine spruce forests of the Southern Urals.

Studying the structure of forest stands, we focused on the nature of inventory characteristics distribution depending on the type of wood. On this basis, we grouped statistical analysis data.

The findings suggest that the structure of stand distribution by diameter is characterized by high variability of trunk diameter. Coefficient of diameter variation reaches up to 52.50 %. In most of the stands, the asymmetry of spruce distribution series by diameter is positive, reaching + 1.04. Kurtosis of spruce by diameter ranges from -0.22 to +1.52. The average height of spruce stands ranges from 14.9 to 23.6 m. Coefficient of height variation does not exceed 9.83 %. In all the types of forests we observed rather close relationships between the diameter and height of trees: coefficient of determination ranged from 0.47 to 0.94 %. The distribution of spruce trees in terms of height varies depending on the type of wood and is 92–126.

The results of the approximation of the distributions of the number of trunks by thickness helped us identify the most appropriate equations for each of the forest types:

- wood-sorrel spruce forest – log-normal distribution;
- herb spruce forest – log-normal distribution;
- wet valley spruce forest – log-normal distribution;
- haircap-moss spruce forest – Weibull distribution.

All the test areas are dominated by uneven-aged stands. The age ranges from 40 to 220 years with the mean age not exceeding the fluctuation interval. The asymmetry of spruce distribution series by age ranges from -1.08 to +0.86.

The national park "Zyuratkul" in the coastal area of Lake Zyuratkul is marked by the formation of pure and mixed virgin spruce forests. The mixed ones include birch and larch, the share of which reaches up to 4 units at various species ratios. Alpine spruce forests are characterized by low productive capacity. The average yield class of these stands is IV.

Keywords: structure, spruce, national park Zyuratkul, mountain forest, distribution, approximation.

REFERENCES

1. *Gornoe serdtse kraya. Istoricheskie, kul'turnye, prirodnye dostoprimechatel'nosti Satkinskogo rayona* [Mountain Heart of the Region. Historical, Cultural and Natural Attractions of the Satkinsky Distrikt]. Chelyabinsk, 1994. 199 p.
 2. Dyrenkov S.A. *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* [Structure and Dynamics of Boreal Spruce Forests]. Leningrad, 1984. 174 p.
 3. *Instruktsiya po provedeniyu lesoustroystva v lesnom fonde Rossii* [Instructions for Forest Management in Russia]. Moscow, 1995. Part 1. 176 p.
 4. Kolesnikov B.P. *Lesy Sverdlovskoy i Chelyabinskoy oblastey* [Forests of the Sverdlovsk and Chelyabinsk Regions]. *Lesy SSSR* [Forests of the USSR]. Moscow, 1969. Vol. 4. 530 p.
 5. Kuz'michev V.V. *Ekologo-tsenoticheskie zakonomernosti rosta odnovozrastnykh sosnovykh drevostoev* [Ecological and Coenotic Regularities of Growth of Even-Aged Pine Stands]. Krasnoyarsk, 1977. 31 p.
 6. Nagimov Z.Ya., Korostelev I.F., Shevelina I.V. *Taksatsiya lesa* [Forest Inventory]. Yekaterinburg, 2006. 300 p.
 7. Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Metody i tekhnika obrabotki lesovodstvennoy informatsii* [Methods and Techniques of Silvicultural Information Processing]. Moscow, 1978. 270 p.
 8. Oskorbin P.A., Vays A.A. *Dinamika prostranstvennoy struktury temnokhvoynykh drevostoev Zapadnoy Sibiri* [Spatial Pattern Dynamics of Dark Coniferous Forest Stands in Western Siberia]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 21–28.
 9. Tyurin A.V. *Osnovy Variatsionnoy statistiki v primenenii k lesovodstvu* [Variation Statistics as Applied to Forestry]. Moscow, 1961. 103 p.
-

УДК 581.524.346

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СОСНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСУШЕНИЯ

© *О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail: o.tukavina@narfu.ru

Качество древесины сосны определяется ее механическими свойствами, которые в свою очередь обусловлены структурой годичного кольца, точнее содержанием поздней древесины. Наилучшими техническими качествами характеризуется та древесина, в которой доля поздней части максимальная. Однако при одинаковой доле поздней древесины могут происходить качественные изменения трахеид за счет увеличения толщины их стенок. У разных отраслей производства свои представления о качестве древесного сырья. Для того, чтобы удовлетворить потребности производства в древесном сырье определенного качества необходимо создать научную базу, банк данных о влиянии экологических факторов на морфологическое и анатомическое строение древесины. Задача выращивания древесины заданного качества путем создания для этого оптимальных условий по-прежнему актуальна.

В работе ставились следующие задачи:

изучить влияние лесоосушительных работ на динамику радиального прироста;
рассмотреть изменение приростов ранней и поздней древесины с увеличением срока давности осушения;

проанализировать влияние гидролесомелиорации на долю поздней древесины в годичном слое;

изучить анатомическое строение древесины в условиях разного гидрологического режима.

Изучение структуры годичных колец проводили в разновозрастных сосняках кустарничково-сфагновых. Данный тип леса является наиболее распространенным среди сосняков Архангельского лесничества.

Нами было установлено, что после проведения лесоосушительных работ рост деревьев в толщину значительно увеличивается, причем в молодых древостоях уже в год осушения, в приспевающих и спелых древостоях – на второй год. В 15-летних древостоях максимальные значения радиального прироста отмечены через 3 года после осушения, в 70-летних – через 6 лет, в 100-летних – через 8 лет. Первое десятилетие постосушительного периода у сосны характеризуется максимальными радиальными приростами.

Под влиянием осушения увеличивается ширина как ранней, так и поздней зоны годичного слоя. Содержание поздней зоны в годичном слое довольно стабильно (по отношению к общей ширине годичного слоя) и составляет 29...37 %. Увеличение радиальных приростов связано с возрастанием количества рядов ранних и поздних трахеид. Улучшение водно-воздушного режима торфяных почв не приводит к достоверным изменениям микроскопических параметров трахеид.

Радиальный прирост в молодых древостоях по сравнению с 70-летними больше за счет увеличения в 2 раза количества рядов как ранних, так и поздних трахеид. Микроскопические параметры трахеид у деревьев разного возраста достоверно не различаются.

Таким образом, под влиянием осушения радиальный прирост увеличивается за счет как ранней, так и поздней зоны годичного слоя. Содержание поздней древесины в годичном кольце стабильно. Увеличение радиальных приростов после осушения связано с заложением большего количества рядов ранних и поздних трахеид.

Ключевые слова: осушенные сосняки, годичные кольца сосны, качество древесины.

Качество древесины сосны определяется ее механическими свойствами, которые в свою очередь обусловлены структурой годичного кольца, точнее содержанием поздней древесины [2, 6, 11]. Наилучшими техническими качествами характеризуется та древесина, в которой доля поздней части максимальная [6]. Задача выращивания древесины заданного качества путем создания для этого оптимальных условий ставилась еще в начале 30-х гг. прошлого века, но и сейчас эта проблема не утратила своей актуальности. Литературные данные о качестве древесины, формирующейся под влиянием абиотических и антропогенных факторов, крайне ограничены, а выводы, полученные разными авторами, часто противоречивы. Поэтому данный вопрос требует дальнейших уточнений [1, 3–5, 7, 8].

Основную часть (80 %) осушенных сосновых лесов Архангельского лесхоза составляют сосняки сфагновых условий местопроизрастания, чем и обусловлен выбор объектов исследования. Изучение структуры годичных колец проводили в сосняках кустарничково-сфагновых, осушенных в 1969 г., с расстоянием между осушителями 100 м. Для исследования были подобраны древостои разного возраста (от 15 до 70 лет на момент осушения), чистые по составу. В каждом насаждении были заложены 8 пробных площадей ленточной формы вдоль осушителей (10...20 м до осушителя) и в центре межканального пространства (50...60 м до осушителя). Из каждой ступени толщины пропорционально представительству деревьев в ступени способом случайной выборки взяты учетные деревья (15 шт. на каждой пробной площади). Все изученные древостои располагались на торфяных верховых почвах.

Согласно нашим исследованиям, после проведения лесоосушительных работ рост деревьев в толщину значительно увеличивается, причем в молодых древостоях уже в год осушения, в приспевающих и спелых – на второй год. В 15-летних древостоях максимальные значения радиального прироста отмечены через 3 года после осушения, в 70-летних – через 6 лет, в 100-летних – через 8 лет. Первое десятилетие постосушительного периода у сосны характеризуется максимальными радиальными приростами. Вблизи с осушителями в приспевающих и спелых древостоях он увеличивается в 3 раза по сравнению с периодом до осушения, в межканальном пространстве – лишь в 2 раза [9, 10].

Данные статистической обработки позволили выявить достоверные различия по этим показателям на уровне 0,99 ($t = 3,8...7,8$).

Во втором десятилетии отмечалось снижение (на 30 %) радиального прироста, что было обусловлено неблагоприятными погодными условиями, поскольку третье и четвертое десятилетия характеризовались более высокими показателями радиального прироста (табл. 1).

Следует отметить, что ни в приканальной полосе, ни в зоне слабого осушения уровни радиального прироста постосушительного периода не опускаются до значений данного показателя до осушения. Из этого можно предположить, что осушительная система на объектах продолжает нормально функционировать даже спустя 35 лет.

Таблица 1

Средние значения радиальных приростов (мм) деревьев по десятилетиям

Возраст древостоя на момент осушения, лет	До осушения	Период осушения, лет			
		10	20	30	35
10...20 м до осушителя					
15	–	$1,3 \pm 0,10$	$0,9 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,08$	$1,0 \pm 0,09$
70	$0,3 \pm 0,03$	$0,9 \pm 0,07$	$0,6 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,07$	$0,8 \pm 0,06$
50...60 м до осушителя					
15	–	$1,0 \pm 0,07$	$0,7 \pm 0,06$	$0,9 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,05$
70	$0,3 \pm 0,02$	$0,5 \pm 0,04$	$0,4 \pm 0,03$	$0,5 \pm 0,04$	$0,5 \pm 0,05$

Анализ структуры годичного слоя показал, что под влиянием осушения увеличивается ширина как ранней, так и поздней зоны годичного слоя. По абсолютной величине ширина поздней зоны заметно меньше ранней, т. е. прирост годичного кольца у сосны на осушенных землях увеличивается преимущественно за счет ранней древесины. При этом содержание поздней зоны в годичном слое довольно стабильно (по отношению к общей ширине годичного слоя) и находится в пределах 29...37 % (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения ширины поздней древесины (числитель) и ее содержание в годичном слое (знаменатель) по десятилетиям

Возраст древостоя на момент осушения, лет	До осушения	Период осушения, лет			
		10	20	30	35
10...20 м до осушителя					
15	–	$\frac{0,44 \pm 0,06}{34 \pm 3,2}$	$\frac{0,32 \pm 0,04}{37 \pm 2,3}$	$\frac{0,39 \pm 0,03}{34 \pm 3,3}$	$\frac{0,33 \pm 0,03}{33 \pm 2,8}$
70	$\frac{0,07 \pm 0,02}{31 \pm 3,0}$	$\frac{0,30 \pm 0,05}{35 \pm 2,2}$	$\frac{0,21 \pm 0,04}{32 \pm 3,1}$	$\frac{0,27 \pm 0,04}{33 \pm 2,8}$	$\frac{0,26 \pm 0,05}{32 \pm 3,2}$
50...60 м до осушителя					
15	–	$\frac{0,34 \pm 0,05}{34 \pm 3,0}$	$\frac{0,24 \pm 0,03}{35 \pm 3,5}$	$\frac{0,31 \pm 0,04}{33 \pm 2,5}$	$\frac{0,26 \pm 0,03}{33 \pm 2,1}$
70	$\frac{0,08 \pm 0,01}{31 \pm 3,3}$	$\frac{0,17 \pm 0,02}{30 \pm 4,2}$	$\frac{0,12 \pm 0,04}{29 \pm 1,6}$	$\frac{0,15 \pm 0,03}{30 \pm 2,8}$	$\frac{0,15 \pm 0,02}{29 \pm 1,2}$

Примечание. В числителе приведены данные в миллиметрах, в знаменателе – в процентах.

Нельзя сделать однозначного вывода о влиянии осушения на содержание поздней древесины. Этот показатель увеличивается, но увеличение зависит как от возраста древостоя на момент осушения, так и от расстояния по отношению к осушителю. У 52 % деревьев связь между процентом поздней древесины и их возрастом значительная криволинейная достоверная ($\eta = 0,47...0,67$ при $t = 3,6$), у 35 % деревьев – высокая достоверная ($\eta = 0,72...0,85$ при $t = 3,8$) [9].

Толщина стенок ранних трахеид изменяется от 2,4 до 3,8 мкм. Отмечается тенденция уменьшения диаметра внутренней полости трахеид ранней древесины с увеличением постосушительного периода, а также уменьшается толщина стенок трахеид (табл. 3).

В 15-летних древостоях в течение всего постосушительного периода толщина стенок трахеид ранней древесины вблизи осушителя на 4...31 % больше, чем в межканальном пространстве. Максимальные достоверные различия ($t = 4,2$) отмечены во втором десятилетии (неблагоприятный по погодным условиям период для роста деревьев), характеризующееся депрессией в динамике радиального прироста. В этот период откладываются трахеиды с наибольшей толщиной, диаметр внутренней полости уменьшается. В другие периоды диаметр внутренней полости ранних трахеид в приканальной полосе на 2...14 % больше по сравнению с зоной слабого осушения. Те же тенденции просматриваются и в 70-летних древостоях.

Следовательно, в неблагоприятный период вблизи осушителя закладываются ранние трахеиды с большей толщиной стенок и меньшим просветом, в межканальном пространстве таких изменений не отмечается.

Достоверной разницы между толщиной стенок ранних трахеид в 15- и 70-летних древостоях на момент осушения не выявлено ($t < 1$). Отмечается тенденция уменьшения в среднем на 7 % диаметра внутренней полости ранних трахеид в 15-летних древостоях по сравнению с 70-летними. В межканальном пространстве данное различие между древостоями разного возраста увеличивается до 10 %.

Таблица 3

Микроскопическое строение (мкм) ранней зоны древесины сосны по десятилетиям

Возраст древостоя на момент осушения, лет	Период осушения, лет				Среднее значение
	10	20	30	35	
10...20 м до осушителя					
15	<u>3,1±0,15</u> 25,0±2,10	<u>3,8±0,19</u> 20,9±1,50	<u>2,7±0,10</u> 24,5±2,00	<u>2,5±0,14</u> 18,3±1,30	<u>3,0±0,15</u> 22,2±1,70
70	<u>3,3±0,18</u> 26,1±2,30	<u>3,6±0,20</u> 24,4±1,80	<u>2,8±0,15</u> 25,1±1,90	<u>3,3±0,20</u> 21,5±1,70	<u>3,3±0,18</u> 23,9±1,90
50...60 м до осушителя					
15	<u>2,8±0,10</u> 21,9±1,70	<u>2,9±0,10</u> 21,8±1,60	<u>2,5±0,11</u> 19,7±1,50	<u>2,4±0,18</u> 18,0±1,50	<u>2,7±0,12</u> 20,4±1,60
70	<u>2,8±0,14</u> 23,7±1,80	<u>2,4±0,11</u> 24,0±1,90	<u>2,5±0,12</u> 21,5±1,70	<u>2,6±0,20</u> 20,5±1,70	<u>2,6±0,14</u> 22,7±1,80

Примечание. Здесь и далее, в табл. 4, в числителе приведена толщина стенок трахеид, в знаменателе – диаметр внутренней полости.

Таблица 4

**Микроскопическое строение (мкм) поздней зоны древесины сосны
по десятилетиям**

Возраст древостоя на момент осушения, лет	Период осушения, лет				Среднее значение
	10	20	30	35	
10...20 м до осушителя					
15	<u>5,2±0,28</u>	<u>4,0±0,21</u>	<u>4,6±0,25</u>	<u>4,3±0,31</u>	<u>4,5±0,26</u>
	9,3±0,68	9,1±0,72	7,7±0,65	8,8±0,70	8,7±0,69
70	<u>5,3±0,34</u>	<u>4,7±0,25</u>	<u>4,5±0,21</u>	<u>4,9±0,26</u>	<u>4,8±0,27</u>
	13,0±0,96	11,2±0,85	10,8±0,81	12,5±1,00	11,9±0,91
50...60 м до осушителя					
15	<u>4,1±0,23</u>	<u>4,4±0,20</u>	<u>4,0±0,21</u>	<u>3,7±0,18</u>	<u>4,1±0,21</u>
	8,7±0,62	9,6±0,75	8,3±0,68	8,7±0,70	8,8±0,69
70	<u>4,2±0,25</u>	<u>4,2±0,24</u>	<u>3,9±0,20</u>	<u>4,8±0,25</u>	<u>4,3±0,23</u>
	8,4±0,67	8,4±0,71	8,2±0,65	7,7±0,63	8,2±0,67

Толщина стенок поздних трахеид в среднем составляет 4,4 мкм, а диаметр внутренней полости – 9,4 мкм (табл. 4). С увеличением постосушительного периода отмечается тенденция снижения толщины стенок поздних трахеид и диаметра внутренней полости поздних трахеид. В неблагоприятный период (второе десятилетие после осушения) оба показателя уменьшаются на 9 и 15 % соответственно.

Появляется тенденция уменьшения диаметра внутренней полости поздних трахеид в приканальной полосе в 15-летних древостоях. Однако толщина стенок здесь увеличивается в среднем на 15 % по сравнению с межканальным пространством.

В 70-летних древостоях вблизи осушителя увеличиваются толщина стенок поздних трахеид и диаметр в трахеидах в среднем соответственно на 14 и 45 %. Статистическая обработка данных позволила выявить достоверные различия по данным показателям ($t = 2,5...3,8$).

Следовательно, в молодых древостоях отмечается тенденция к формированию более плотной поздней древесины в приканальной полосе, в приспевающих – в межканальном пространстве.

Если сравнивать микроскопическое строение поздней зоны древесины в древостоях разного возраста, то в межканальном пространстве достоверных различий не наблюдается. Вблизи осушителя в 70-летних древостоях толщина стенок поздних трахеид и диаметр внутренней полости трахеид увеличиваются соответственно на 6 и 37 % больше, чем в более молодых древостоях.

В ранней древесине вблизи осушителя в среднем закладывается на 3 ряда трахеид больше, чем в межканальном пространстве (табл. 5). В неблагоприятный по погодным условиям период в молодых и 70-летних древостоях закладывается соответственно на 8 и 3 ряда ранних трахеид меньше по сравнению с остальными годами. Это характерно как для приканального, так и межканального пространств.

Ранних трахеид в 15-летних древостоях образуется в 1,5 раза больше, чем в 70-летних.

Таблица 5

Структура ранней зоны древесины сосны по десятилетиям

Возраст древостоя на момент осушения, лет	Период осушения, лет				Среднее значение
	10	20	30	35	
10...20 м до осушителя					
15	<u>31,2*/20**</u> 28***	<u>28,5/27</u> 20	<u>29,9/18</u> 26	<u>23,3/21</u> 29	<u>28,2/22</u> 26
70	<u>32,7/20</u> 18	<u>31,6/23</u> 14	<u>30,7/18</u> 17	<u>28,1/23</u> 19	<u>30,8/21</u> 17
50...60 м до осушителя					
15	<u>27,5/20</u> 25	<u>27,6/21</u> 16	<u>24,7/20</u> 25	<u>22,8/21</u> 24	<u>25,7/21</u> 23
70	<u>29,3/19</u> 13	<u>28,8/17</u> 10	<u>26,5/19</u> 13	<u>25,7/20</u> 14	<u>27,6/19</u> 13

*Диаметр трахеид, мкм.

**Процент стенок от диаметра трахеиды.

***Число рядов трахеид, шт.

Таким образом, в межканальном пространстве при относительно стабильной доле стенок в диаметре ранних трахеид сам диаметр уменьшается, т. е. плотность ранней древесины здесь возрастает по сравнению с приканальной полосой.

Вблизи осушителя в среднем закладывается на 4 ряда поздних трахеид больше, чем в межканальном пространстве (табл. 6). В неблагоприятный период число рядов поздних трахеид уменьшается в среднем на 3.

В поздней древесине молодых древостоев образуется в 2 раза больше рядов трахеид, чем в 70-летних древостоях.

Доля стенок в диаметре поздних трахеид в 15-летних древостоях достоверно не изменяется, но отмечается тенденция ее увеличения вблизи осушителя по сравнению с межканальным пространством. В 70-летних древостоях вблизи осушителя данный показатель снижается в среднем на 6 %.

Таблица 6

Структура поздней зоны древесины сосны по десятилетиям

Возраст древостоя на момент осушения, лет	Период осушения, лет				Среднее значение
	10	20	30	35	
10...20 м до осушителя					
15	<u>19,7*/53**</u> 22**	<u>17,1/47</u> 19	<u>16,9/54</u> 23	<u>17,4/49</u> 19	<u>17,8/51</u> 21
70	<u>23,6/45</u> 13	<u>20,6/46</u> 10	<u>19,8/45</u> 14	<u>22,3/44</u> 12	<u>21,5/45</u> 12
50...60 м до осушителя					
15	<u>16,9/49</u> 20	<u>18,4/48</u> 13	<u>16,3/49</u> 19	<u>16,1/46</u> 15	<u>17,0/48</u> 17
70	<u>16,8/50</u> 10	<u>16,8/50</u> 7	<u>16,0/49</u> 9	<u>17,3/55</u> 9	<u>16,7/51</u> 9

Примечание. См. обозначения в табл. 5.

Доля стенок в диаметре ранних трахеид в среднем составляет 21 %, в диаметре поздних трахеид – 49 %. В неблагоприятный по погодным условиям период вблизи осушителя закладываются ранние трахеиды с большей толщиной стенок и меньшим просветом, в межканальном пространстве таких изменений не отмечается.

Следовательно, в молодых древостоях радиальный прирост больше, чем в 70-летних за счет двукратного увеличения числа рядов как ранних, так и поздних трахеид, но микроскопические параметры трахеид достоверно не различаются. В неблагоприятных как погодных, так и лесорастительных (избыточное увлажнение) условиях закладывается меньше рядов трахеид, что и обуславливает снижение радиального прироста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Блинцов И.К., Ипатьев В.А.* Влияние осушения торфяных почв на анатомическое строение древесины сосны // Лесн. журн. 1973. № 2. С. 16–18. (Изв. высш. учеб. заведений)
2. *Вихров В.Е.* Изменение крепости древесины в зависимости от процента поздней части годичного слоя и влажности // Сб. науч. тр. Архангельск: АЛТИ, 1949. С. 175–178.
3. Влияние осушения болот на анатомическое строение древесины сосны обыкновенной / В.П. Косарев, М.У. Умаров, И.Х. Стульнева, З.С. Эжиева // Лесн. журн. 1990. № 2. С. 127–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Кищенко И.Т., Асламова Т.Н.* Формирование годичного слоя ствольной древесины сосны в южной Карелии в связи с условиями местопроизрастания // Биологические проблемы Севера. Петрозаводск, 1976. С. 75–77.
5. *Матюшкина А.П., Коржицкая З.А., Козлов В.А.* Характеристика древесины сосны обыкновенной в зависимости от интенсивности роста // Лесные ресурсы Карелии. Петрозаводск, 1974. С. 120–132.
6. *Мелехов И.С.* О качестве северной сосны. Архангельск, 1932. 20 с.
7. *Мелехов И.С., Мелехова Т.А.* Влияние осушения болотных сосняков на формирование древесины // Лесн. журн. 1958. № 4. С. 16–28. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Полубояринов О.И., Елпатьевский М.П.* Изменение показателей качества сосновой древесины под влиянием осушения // Гидромелиорация и рациональное природопользование. Л., 1982. С. 75–78.
9. *Тюкавина О.Н.* Структура годичного кольца сосны в северных осушенных сосняках // Вестн. Помор. ун-та, 2004. № 1(5). С. 72–77.
10. *Феклистов П.А., Тюкавина О.Н.* Прирост и структура годичного кольца в сосняках кустарничково-сфагновых осушенных // Экологические проблемы Севера: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 6. Архангельск, 2003. С. 66–69.
11. *Rendle B.J., Phillips E.W.J.* The effect of rate of growth (ring width) on the density of softwoods / B.J. Rendle, E.W.J. Phillips // Forestry. 1958. № 2. P. 113–120.

Поступила 11.11.09

Influence of Drainage on the Structure of Pine Annual Rings

O.N. Tyukavina, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 163002,
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russia
E-mail: o.tukavina@narfu.ru

The quality of pine wood is determined by its mechanical properties which in their turn depend on the annual ring structure, or more exactly on the content of latewood. The best technical qualities are found in trees with prevailing latewood. However, with the same share of latewood tracheids there may take place some qualitative changes due to increased thickness of their wall. Different forest product companies require raw wood of certain quality. It is therefore necessary to create a data bank on the impact of environmental factors on the morphological and anatomical structure of timber.

Objectives of our research:

- to study the influence of forest drainage on radial growth dynamics;
- to consider changes in the width of early- and latewood;
- to analyze the impact of hydromelioration on the latewood in the annual ring;
- to study the anatomical structure of wood under various hydrological conditions.

The structure of growth rings was studied in uneven-aged shrub-sphagnum pine forests. This type of forest is the most common one among Arkhangelsk pine forests.

According to our research, forest drainage greatly facilitates the diameter growth of trees. In young stands it happens already during the year of drainage, while in maturing and mature forests during the second year. In 15-year-old stands the maximum radial growth is observed after 3 years since draining, in 70-year-olds after 6 years, in 100-year-old stands after 8 years. The first decade following the drainage is characterized by a maximum radial growth in pine trees.

Both early- and latewood in the annual ring grow wider after draining. The share of latewood is rather stable (in relation to the total width of the annual ring) and ranges from 29 to 37 %. Radial growth depends on the number of rows of early and late tracheids. Better waterair conditions of peat soils do not lead to significant changes in microscopic parameters of tracheids.

Radial growth is more significant in young stands than in 70-year-old ones due to the fact that young stands have two times more rows of tracheids, both early and late. Trees of different ages showed no significant differences in microscopic parameters.

Conclusion:

Forest drainage facilitates radial growth both in early- and latewood.

The share of latewood in annual rings is stable.

Radial growth after drainage depends on the number of rows of early and late tracheids.

Keywords: drained pine forest, pine annual ring, quality of wood.

REFERENCES

1. Blintsov I.K., Ipat'ev V.A. Vliyanie osusheniya torfyanykh pochv na anatomicheskoe stroenie drevesiny sosny [Influence of Peat Soil Drainage on the Anatomical Structure of Pine Wood]. *Lesnoy zhurnal*, 1973, no. 2, pp.16–18.

2. Vikhrov V.E. Izmenenie kreposti drevesiny v zavisimosti ot protsenta pozdneychasti godichnogo sloya i vlazhnosti [Changes in the Strength of Wood, Depending on the Share of the Late Part of the Annual Ring and Humidity]. *Sb.nauch.tr.* [Collected Papers]. Arkhangelsk, 1949, pp. 175–178.

3. Kosarev V.P., Umarov M.U., Stul'neva I.Kh., Ezhieva Z.S. Vliyanie osusheniya bolot na anatomicheskoe stroenie drevesiny sosny obyknovennoy [The Influence of Wetland Drainage on the Anatomical Structure of Scots Pine Wood]. *Lesnoy zhurnal*, 1990, no. 2, pp. 127–130.

4. Kishchenko I.T., Aslamova T.N. Formirovanie godichnogo sloya stvolovoy drevesiny sosny v yuzhnoy Karelii v svyazi s usloviyami mestoproizrastaniya [Annual Ring Formation in Pine Stem Wood in Southern Karelia Depending on the Site Conditions]. *Biologicheskie problemy Severa* [Biological Problems of the North]. Petrozavodsk, 1976, pp. 75–77.

5. Matyushkina A.P., Korzhitskaya Z.A., Kozlov V.A. Kharakteristika drevesiny sosny obyknovennoy v zavisimosti ot intensivnosti rosta [Pine Wood Properties Depending on the Intensity of Growth]. *Lesnye resursy Karelii* [Forest Resources of Karelia]. Petrozavodsk, 1974, pp. 120–132.

6. Melekhov I.S. *O kachestve severnoy sosny* [On the Quality of Northern Pine]. Arkhangelsk, 1932.

7. Melekhov I.S., Melekhova T.A. Vliyanie osusheniya bolotnykh sosnyakov na formirovanie drevesiny [Influence of Drainage of Marshy Pine Forests on Wood Formation]. *Lesnoy zhurnal*, 1958, no. 4, pp. 16–28.

8. Poluboyarinov O.I., Elpat'evskiy M.P. Izmenenie pokazateley kachestva sosnovoy drevesiny pod vliyaniem osusheniya [Changes in the Quality of Pine Wood Due to Drainage]. *Gidromelioratsiya i ratsional'noe prirodoopol'zovanie* [Hydromelioration and Environmental Management]. Leningrad, 1982, pp. 75–78.

9. Tyukavina O.N. Struktura godichnogo kol'tsa sosny v severnykh osushennykh sosnyakakh [The Structure of Annual Rings in Drained Pine Forests in the North]. *Vestnik Pomorskogo universiteta*, 2004, no. 1 (5), pp. 72–77.

10. Feklistov P.A., Tyukavina O.N. Prirost i struktura godichnogo kol'tsa v sosnyakakh kustarnichkovo-sfagnovykh osushennykh [The Growth and Structure of Annual Ring in Drained Shrub-Sphagnum Pine Forests]. *Ekologicheskie problemy Severa: Mezhevuz. sb. nauch. tr.* [Ecological Problems of the North: Interuniversity Collected Papers]. Iss. 6. Arkhangelsk, 2003, pp. 66–69.

11. Rendle B.J., Phillips E.W.J. The Effect of Rate of Growth (Ring-Width) on the Density of Softwoods. *Forestry*, 1958, no. 2, pp. 113–120.



УДК 630*24:65.011.54

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ ДЛЯ ВЫВОЗКИ ОТХОДОВ РУБОК УХОДА В ПАРКОВЫХ ЗОНАХ

© Д.Г. Мясищев, д-р техн. наук, проф.
Д.Е. Маковеев, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail: d.myasishchev@agtu.ru, makoveevde@gmail.com

В целях повышения уровня производительности труда при проведении лесохозяйственных работ с середины XX в. начался активный процесс развития механизации, который продолжается до сих пор и затрагивает все большее число технологических процессов. Если ранее механизированы были лишь самые трудоемкие операции (трелевка и валка), то сегодня налажен серийный выпуск даже секаторов с электроприводом.

Статья посвящена малой механизации при рубках ухода в парковых зонах с использованием минитрелевочного агрегата для вывозки отходов рубок. Для определения наиболее оптимальных характеристик шасси этого агрегата была проведена экспериментальная рубка ухода на неухоженной территории парковой зоны площадью 0,3 га. Были получены данные об удельном расходе топлива при движении агрегата по волоку с дискретными препятствиями в виде пней, корневых систем, камней, а также хронометраж всех основных технологических операций и таксационные замеры древостоя: суммарный объем заготовленной древесины (переводной коэффициент для хвороста – 0,1, для дров – 0,75) – 4,9 плотных м³, в том числе дров – 3,4 плотных м³; технологический удельный расход топлива на заготовленный и вывезенный 1 м³ древесины – 1,48 кг/м³; удельные трудозатраты – 5,33 чел.·ч/м³, в том числе на трелевку древесины 1,50 чел.·ч/м³.

Натурные испытания минитрактора 2К2 с шарнирно-сочлененным прицепом показали возможность его применения для вывозки порубочных остатков от рубок ухода в условиях рекреационного лесопаркового хозяйства. Для почв с низкой несущей способностью необходимо проводить дополнительные мероприятия по повышению его проходимости: подбор шин соответствующего назначения и размера, использование цепей противоскольжения, установка дополнительной поддерживающей оси прицепа. В целях повышения грузоподъемности прицепа и достижения максимальной экономии топлива целесообразно увеличить его борта. Полученные в ходе выполненного эксперимента результаты являются основой для оптимизации движителя.

Ключевые слова: минитрелевщик, мотоблок, рубки ухода, малая механизация, отходы.

Интенсивное развитие городов и транспортной инфраструктуры привело к резкому возрастанию потребности в восстановлении и создании парков

и лесопарков. Рубки ухода в насаждениях рекреационного назначения (парки, городские леса, лесопарки) – важное лесохозяйственное мероприятие, направленное на формирование устойчивых, здоровых насаждений, сохранение и усиление их полезных функций.

Целью настоящей работы является анализ влияния конструктивных и технологических параметров минитрелевщика на эффективность вывозки порубочных остатков, исходя из условия наличия на волоках дискретных препятствий в виде пней, корней, камней.

В лесном хозяйстве применяют следующие способы ликвидации отходов рубок ухода:

- сбор в мелкие кучи и сжигание на месте рубок;
- укладка сучьев и ветвей на волоки;
- разбрасывание измельченных отходов по площади вырубки;
- укладка в плотные кучи для перегнивания.

Способы, перечисленные выше, не могут быть использованы в парковом хозяйстве по причине рекреационного назначения территории. Следовательно, требуется удалять порубочные остатки с мест рубок ухода. В дальнейшем утилизация отходов может быть произведена различными способами – от сжигания в специально отведенных местах до производства различных товаров народного потребления (кольев, черенков для лопат и т.д.).

Основной задачей эксперимента, проведенного в рамках исследовательской работы «Повышение эффективности рубок ухода в парковых хозяйствах Архангельской области», было натурное испытание возможности и целесообразности применения минитрелевщика (лесотранспортной системы минитрактор 2К2 – прицеп) при рубках ухода в условиях густо заросшей парковой территории, расположенной в г. Архангельске (Талажский авиагородок, территория храма св. влм. Варвары). Размер участка, отведенного для рубки ухода, составил 3000 м².

Для осуществления рубки ухода использовали комплекс оборудования (мотоинструмент с бензиновым двигателем):

- бензопила «Stihl MS180»;
- мотокусторез «Husqvarna 343F»;
- минитрактор «Сиверко» с прицепом (колесная формула 2К2).

Минитрактор состоит из одноосного мотоблока 2К2 (конструкции АГТУ) с двигателем от отечественной бензопилы МП-5 «Урал» (мощность двигателя 3,7 кВт) и одноосного бортового прицепа «Красный Октябрь» [5, 7]. Экспериментальный образец мотоблока был изготовлен в условиях ОАО «Механический завод» (г. Архангельск) и лаборатории лесотранспортных машин АГТУ (рис. 1). В подготовке оборудования к эксплуатации принимали участие Д.Г. Мясичев, А.Н. Кушков, В.А. Кузенков.

Грузоподъемность прицепа 500 кг при объеме кузова 0,28 м³. При перевозке поленьев свежесрубленной осины плотностью 762 кг/м³ [3] (коэффициент полндревесности 0,75 [2]) масса древесины, перевозимой на прицепе со стандартными бортами высотой 0,23 м, составляет 160 кг, что соответствует 32 %



Рис. 1. Вывоз отходов рубки ухода с помощью минитрактора 2К2

от грузоподъемности прицепа (без учета массы оператора). В случае перевозки хвороста и веток масса составит всего 21 кг (коэффициент полндревесности 0,10 [4]) или менее 5 % от номинальной грузоподъемности.

Для более полного использования грузоподъемности прицепа авторами были разработаны и изготовлены быстросъемные надставные борта высотой 0,67 м (общая высота бортов – 0,90 м), которые позволяют увеличить объем перевозимого груза до 1,0 м³. При разработке учтена возможность размещения дополнительных бортов в кузове при транспортировке и хранении прицепа. Монтаж бортов производится при помощи болтового соединения к ребрам жесткости прицепа. При этом масса прицепа увеличилась до 15 кг. Для ориентировочного определения объема загружаемой древесины с внутренней стороны бортов нанесена разметка: 0,3 м³; 0,5 м³; 0,8 м³ и 1,0 м³.

Для удобства перевозки веток, хвороста или других грузов, длина которых более длины платформы кузова, задний откидной борт был дополнен ограничителями открывания, позволяющими либо зафиксировать борт под углом 0...90°, либо полностью открыть его.

Схема процесса экспериментальной рубки:

подготовка склада дров;

прокладка волока;

подготовка площадки для сжигания порубочных остатков вне парковой зоны;

срезание деревьев и кустарников, раскряжевка, пакетирование;

вывоз раскряжеванных стволов и порубочных остатков.

Авторы статьи [1] затрагивают очень важную сторону процесса рубок ухода – вредное воздействие лесных тракторов на почву и насаждения. С данной проблемой, хоть и в меньшей степени, пришлось столкнуться и нам

во время проведения эксперимента. Невысокая несущая способность почвы не позволила в полной мере использовать грузоподъемность прицепа. Проблема заключалась в том, что при прохождении участков с уклоном и проезде через выступающие пни и корневые системы ведомые колеса прицепа малых диаметра и ширины застревали. Ведущие колеса имели большие размеры и рисунок протектора повышенной проходимости типа «елочка», тем не менее они буксовали, создавая колею и микропонижения. Поэтому с каждым рейсом приходилось уменьшать полезную нагрузку, вследствие чего количество рейсов возросло. Отрицательным фактором конструкции агрегата является развесовка по осям: большая часть веса оператора, груза и самого прицепа приходится на задний ведомый мост, что по оценочным подсчетам составляет почти 80 % от общего веса. Положительным моментом конструкции трансмиссии экспериментального минитрелевщика является отсутствие межколесного дифференциала, что повышает тяговые качества. Разный размер колеи ведущей и ведомой осей повышает проходимость в конкретных условиях эксперимента, так как этот вариант не способствует образованию глубокой колеи.

В литературе рассмотрены следующие направления повышения проходимости лесной машины и минимизации негативных экологических последствий:

1. Применение широкопрофильных шин: на экспериментальном образце вполне применимо и будет рассмотрено в процессе дальнейшей исследовательской работы.

2. Полный привод: на данном конкретном агрегате реализовать технически сложно и экономически нецелесообразно.

3. Установка колес на прицепе попарно по схеме «тандем» с возможностью дополнить их быстросъемными гусеничными лентами [6]: технически несложно реализовать, что позволит уменьшить удельное давление на почву.

4. Применение более рациональной развесовки: 60 % на ведущие колеса и 40 % на прицеп [1]. К этим показателям можно приблизиться, если место оператора установить перед двигателем, но это технически сложно и требует внесения значительных конструктивных изменений в агрегат.

Данное направление использовалось нами в дальнейшей работе по повышению топливной экономичности и проходимости лесной машины с учетом наличия на волоке дискретных препятствий в виде пней, корней, камней и других твердых включений. Для этого был произведен подсчет количества препятствий на волоке и их обмер. Результаты представлены на рис. 2.

Во время технологических операций фиксировали следующие показатели: продолжительность работы бензопилой и мотокусторезом; расход топлива мотокусторезом и пилой; расход топлива минитрактором (минитрелевщиком) при транспортном и порожнем режимах движения, включая контрольный замер; объем заготовленной древесины.

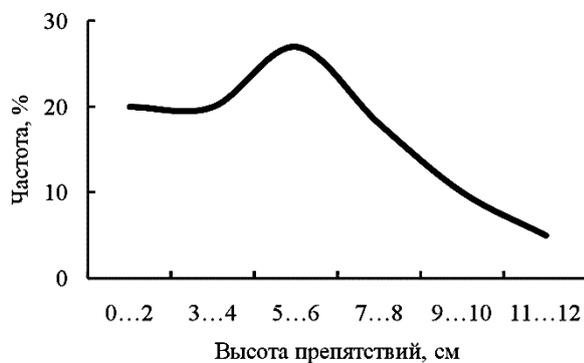


Рис. 2. Распределение высот препятствий (а) и характеристика потока случайных препятствий (б) на волоке



В ходе проведения рубки ухода в парковой зоне были получены следующие результаты: суммарный объем заготовленной древесины (переводной коэффициент для хвороста – 0,10, для дров – 0,75 [4]) составил 4,9 плотных м³, в том числе 3,4 плотных м³ дров; технологический удельный расход топлива на заготовленный и вывезенный 1 м³ древесины – 1,48 кг/м³; удельные трудозатраты – 5,33 чел.·ч/м³, в том числе на трелевку древесины 1,50 чел.·ч/м³.

Отходы рубки были использованы в качестве топлива для отопления помещений здания храма. Длина топки твердотопливного котла КЧМ-5 составляет 0,72 м, поэтому для закладки дров был выбран стандартный размер полена 0,50 м [2].

Таким образом, натурные испытания показали возможность применения минитрактора 2К2 с шарнирно-сочлененным прицепом для вывозки порубочных остатков от рубок ухода в условиях рекреационного лесопаркового хозяйства. Для почв с низкой несущей способностью необходимо проводить дополнительные мероприятия по улучшению проходимости лесотранспортного агрегата: подбор пневматических шин соответствующего назначения и размера, использование цепей противоскольжения, установка дополнительной поддерживающей оси прицепа. Для более рационального использования грузо-

подъемности прицепа целесообразно увеличить его борта, что позволит достигнуть максимальной топливной экономичности. Полученные в ходе выполненного эксперимента результаты являются основой для оптимизации движителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бартенев И.М., Дралюк М.В.* Снижение вредного воздействия лесных тракторов и лесосечных машин на почву и насаждения // Лесотех. журн. 2012. № 1. С. 61–66.
2. ГОСТ3243–88. Дрова. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2005. 8 с.
3. Лесотаксационный справочник / Б.И. Грошев, С.Г. Сеницын, П.И. Мороз, И.П. Сеперович. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.
4. Общесоюзные нормативы для таксации лесов: справ./В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалев. М.: Колос, 1992. 495 с.
5. Пат. 1724025 СССР, МКИ А01 В3/50. Мотоблок / Сенников М.А., Мясищев Д.Г. № 4773820; заяв. 26.12.89; опубл. 07.04.92, Бюл. № 13. 1 с.
6. *Питухин А.В., Сюнев В.С.* Минимизация техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок // Фундам. исслед. 2005. № 9. С. 116–120.
7. *Сенников, М.А. Мясищев Д.Г., Коряковцев Н.А.* Мотоблок «Сиверко»// Информ. лист. Архангельск: ЦНТИ. 1991. № 66–91.

Поступила 21.02.13

Use of Small-Scale Mechanization to Remove Thinning Waste in Parks

D.G. Myasishchev, Doctor of Engineering, Professor
D.E. Makoveev, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 163002, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russia
E-mail: d.myasishchev@agtu.ru

Mid-twentieth century saw an active development of mechanization aiming to improve the level of productivity in forestry. This process has been going on to the present day, affecting greater numbers of mechanized technological processes. Previously, only labour-intensive operations, such as hauling and rolling, were mechanized, while today even electric pruning shears have been serialized.

The paper dwells on small-scale mechanization of thinning in parks and focuses, in particular, on the mini-skidder for removing waste after thinning. In order to determine the optimal characteristics of skidder chassis, we carried out experimental thinning in an overgrown park zone with the area of 0.3 ha. As a result, we obtained data on specific fuel consumption for a skidder driving on a logway with discrete obstacles such as tree stumps, roots and stones. Timing of all major operations was done; forest inventory measurements for the stand were performed. The results of thinning in the park area are as follows: the total volume of timber harvested is 4.9 solid m³, including 3.4 solid m³ of firewood. Specific fuel

consumption per 1 m³ of harvested and removed timber is 1.48 kg/m³, labour constant 5.33 people per h/m³, including 1.5 people per h/m³ for timber hauling.

The tests in situ for 2K2 mini-tractor with articulated trailer showed the possibility of using it to remove waste from thinning in recreational parks. In areas with soil having low bearing capacity, one needs to take extra steps to improve trafficability of tractors, e.g. by choosing appropriate type and size of tires, using snow chains and installing additional bearing axle on the trailer. For a more rational use of trailer's carrying capacity, its sides can be enlarged to minimize fuel consumption. The data collected can help optimize the driver.

Keywords: mini-skidder, motor cultivator, thinning.

REFERENCES

1. Bartenev I.M., Drapalyuk M.V. Snizhenie vrednogo vozdeystviya lesnykh traktorov i lesosechnykh mashin na pochvu i nasazhdeniya [Reducing the Harmful Effects of Forest Harvesting Machines and Tractors on the Soil and Plantations]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 61–66.
2. GOST 3243–88. *Drova. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 3243-88. Firewood. Specifications]. Moscow, 2005. 8 p.
3. Groshev B.I., Sinitsyn S.G., Moroz P.I., Saperovich I.P. *Lesotaksatsionnyy spravochnik* [Forest Inventory Guide]. Moscow, 1980. 288 p.
4. Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov* [Union-Wide Standards for Forest Inventory]. Moscow, 1992. 495 p.
5. Sennikov M.A., Myasishchev D.G. *Motoblok* [Motor Cultivator]. Patent RF, no. 1724025, 1992.
6. Pitukhin A.V., Syuneyev V.S. Minimizatsiya tekhnogenogo vozdeystviya na lesnuyu sredu v protsesse lesozagotovok [Minimization of Anthropogenic Impact on Forests in the Process of Logging]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2005, no. 9, pp. 116–120.
7. Sennikov M.A., Myasishchev D.G., Koryakovtsev N.A. *Motoblok «Siverko»* [Motor Cultivator “Siverko”]. *Informatsionnyy listok* [Release Bulletin]. Arkhangelsk, 1991, no. 66–91.

УДК 630*306

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ В ГОРНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© *А.Б. Жирнов, д-р техн. наук, проф.*

А.В. Баранов, ст. преп.

Н.А. Костенко, ст. преп.

Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86,
г. Благовещенск, Россия, 675005

E-mail: baranovmex@mail.ru

При разработке технологического процесса заготовки древесины в горных лесах необходимо иметь представление о воздействии лесозаготовительных машин на почву и подрост в зависимости от технологии их использования и природно-климатических условий. Наиболее достоверным способом определения соответствия разрабатываемых технологических процессов горных лесосечных работ лесоводственным требованиям является их опытная проверка. Анализ полученных данных при опытной проверке технологии лесосечных работ в горных условиях позволяет судить о возможности ее использования с учетом требований лесного законодательства.

Для выполнения поставленной задачи были проведены полевые испытания разработанной технологии заготовки древесины на склонах крутизной более 20°. Эксперимент носил пассивный характер с фиксированием интересующих данных (количество сохраняемого подроста и тонкомера, площадь и уровень повреждения почвенного покрова). Производственная проверка разработанной технологии проводилась в Амурской области с использованием системы машин: валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (ВСРМ) «Тимберджек 2618» с харвестерной головкой «Тимберджек 726В» + бензодвигательная пила «Хускварна 240» + канатная трелевочная установка (КТУ) «Оwтеп-400Ru» на базе автомобиля КамАЗ.

Опытная проверка предложенной технологии заготовки древесины в горных лесах показала ее соответствие лесоводственным требованиям. Отличие данной технологии от существующих заключается в комбинировании механизированного и машинного способов разработки горных лесосек с использованием на трелевке древесины канатной установки. Разработанную технологию в дальнейшем можно использовать и за пределами Дальнего Востока с учетом природно-производственных факторов конкретного региона.

Ключевые слова: канатная установка, склон, лента, манипулятор, волок, деревья, штабель, почва.

Заготовка древесины на склонах крутизной более 20° в последнее время становится жизненной необходимостью для некоторых лесозаготовительных предприятий Дальнего Востока, так как сырьевые ресурсы истощены, строительство транспортных артерий к нетронутым рубками равнинным лесам практически не ведется. Разработка технологии заготовки древесины на крутых склонах не только должна способствовать увеличению производительности труда, но и соответствовать лесоводственным требованиям.

Теоретические исследования по проведению заготовки древесины на крутых склонах дают возможность выявить недостатки существующих технологических решений и учесть их при разработке технологического процесса освоения горных лесосек.

Производственная проверка разработанной технологии позволяет оценить возможность ее внедрения в производственные процессы лесозаготовительных предприятий Дальнего Востока.

На дальневосточных горных склонах крутизной 21...30° сосредоточено около 30 % запаса лесного фонда [3].

Механизация лесосечных работ в горных условиях Дальнего Востока началась в 50-е годы XX в. с появления на Сахалине канатных трелевочных установок (КТУ). Несмотря на положительный лесоводственный эффект широкого применения они не получили и были вытеснены гусеничными тракторами, которые использовались на специальных волоках-террасах [1]. Однако террасовидные волока вели к существенным нарушениям почвенно-гидрологического режима горных склонов [3].

Распространению канатной трелевки на Дальнем Востоке способствовала рекомендованная НТС Минлесхоза РСФСР 28.10.81 г. к широкой опытно-производственной проверке технологии разработки лесосек в горных условиях на базе самоходных канатных установок, в которой участвовал и ДальНИИЛХ [4]. При сплошных рубках были испытаны две технологические схемы лесосечных работ: с разбивкой лесосек на секторы и на параллельные полосы.

При секторной трелевке канатными установками МЛ-43 сохранность подроста составляла не более 20 %, тонкомер не сохранялся, минерализация почвы составляла 5...16 %, общее повреждение почвенного покрова – 90 % площади вырубki [1].

При ленточной технологии лесосечных работ с использованием самоходной канатной установки МЛ-43 сохранность подроста колебалась от 48 до 65 %, подрост полностью уничтожался только на волоках и в местах падения деревьев. Сохранность тонкомера на вырубке не превышала 40 %, но эти деревья имели повреждения в виде ошмыга ствола и кроны. Минерализация почвы составляла 2...4 %, общая повреждаемость поверхности – 50 % [1].

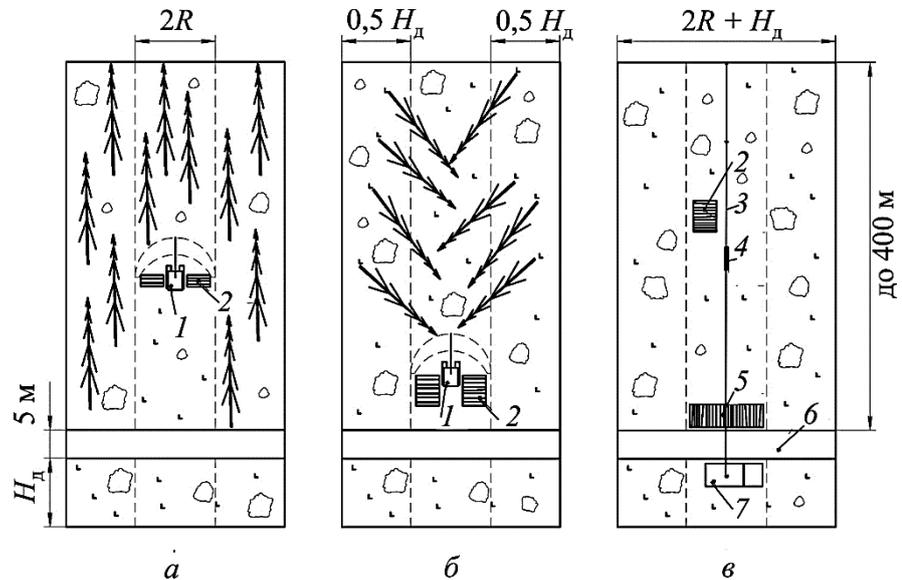
В настоящее время компания «Аркаим» (Приморский край) наладила агрегатную сборку норвежских самоходных КТУ «Owren-400Ru», имеющих лучшие параметры производительности по сравнению с МЛ-43. При опытно-производственной проверке работы «Owren-400Ru» установлено, что сохранность подроста и нарушение почвенного покрова близки к показателям, полученным при работе МЛ-43 [2].

Современные многооперационные машины, способные передвигаться на склонах крутизной до 45°, позволили минимизировать долю ручного труда при валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжевке хлыстов в условиях горных лесосек.

В большинстве случаев технология заготовки древесины в горных лесах с применением многооперационных машин предполагает разработку ленты шириной не более двух длин манипулятора и трелевку древесины в полупогруженном или полуподвешенном состоянии.

Исследования работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ) «Тимберджек-2618» и бесчерновой трелевочной машины «Тимберджек-933» при проведении сплошнолесосечных и чересполосных рубок на склонах крутизной от 20 до 30° показали, что основные повреждения почвенного покрова отмечены на волоках, где наблюдается минерализация почвы до 10 % и образование колеи до 50 см (3...5 % от площади волоков) [3]. Использование данной системы машин не всегда приемлемо с лесоводственной точки зрения в связи с тем, что в некоторых регионах Дальневосточного федерального округа в летний период выпадает около 90 % среднегодовой нормы осадков. Сам факт интенсивных дождей позволяет констатировать угрозу возникновения эрозийных процессов горных почв, при минерализации которых такая вероятность увеличивается в разы.

В предложенной технологии заготовки древесины на склонах использовали комбинированный метод разработки лент с получением сортиментов, которые трелеются в полностью подвешенном состоянии.



Технологическая схема разработки горной лесосеки по комбинированной технологии с трелевкой сортиментов КТУ: R – радиус действия манипулятора ВСРМ; H_d – высота древостоя; 1 – ВСРМ (специализированная для работы на склонах); 2 – пакеты сортиментов; 3 – несущий трос канатной установки; 4 – каретка с пачкой сортиментов; 5 – погрузочная площадка; 6 – лесовозный ус; 7 – самоходная канатная трелевочная установка

Технология разработки горной лесосеки представлена на рисунке. Двигаясь от подошвы склона вверх, ВСРМ разрабатывает ленту шириной две длины манипулятора с формированием пакетов сортиментов на две стороны (см. рисунок, *а*). Оператор бензомоторной пилы производит направленную валку деревьев к оси трассы КТУ с двух лент, расположенных вне зоны действия манипулятора ВСРМ; ширина каждой ленты составляет 0,5 высоты древостоя (H_d) (см. рисунок, *б*). При повторном заходе ВСРМ, двигаясь по своему следу, обрабатывает деревья, поваленные вальщиком. Получаемые порубочные остатки укладываются на волок.

В лесном кодексе прописано, что трелевка древесины на склонах крутизной более 20° допускается только при использовании канатных установок и летательных аппаратов, соответственно нами выбран способ трелевки пакетов сортиментов самоходной КТУ в полностью подвешенном состоянии. Штабеля сортиментов формируются у подошвы склона вблизи лесовозного уса (см. рисунок, *в*).

Производственную проверку разработанной технологии проводили с использованием системы машин: ВСРМ «Тимберджек 2618» с харвестерной головкой «Тимберджек 726В» + бензомоторная пила «Хускварна 240» + КТУ «Owren-400Ru» на базе автомобиля КамАЗ.

До 88 % подроста и тонкомера сохраняется на лентах, разрабатываемых вальщиками. Значительное уничтожение подроста (до 75 %) наблюдалось на лентах, разрабатываемых ВСРМ, что происходит за счет приземления кроны поваленных вальщиками деревьев и укладки пакетов сортиментов на центральную часть лесосеки. Среднее значение сохранности подроста на экспериментальных лесосеках колебалась от 63 до 76 % (среднее значение сохранности подроста рассчитывалось без учета площади волока в соответствии с «Правилами заготовки древесины» от 01.08.2011 г.) Полное отсутствие минерализованных участков и незначительное нарушение почвенного покрова позволяет признать эту технологию щадящей по отношению почве.

Разработанная технология полностью соответствует лесоводственным требованиям, что позволяет использовать ее в технологическом процессе всех лесозаготовительных предприятий без дополнительных согласований с контролирующими органами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев А.П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока. Хабаровск: ФГУ «ДальНИИЛХ», 2004. 270 с.
2. Ковалев А.П., Матвеева А.Г. Особенности рубок в пихтово-еловых лесах Сихотэ-Алиня//Вест. ТОГУ. 2011. № 1 (20). С. 125–134.
3. Ковалев В.А. Лесоводственная оценка лесозаготовок с применением агрегатных машин в горных лесах Сихоте-Алиня: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Уссурийск, 2006. 23 с.
4. Технология лесосечных работ в горных условиях на базе канатных установок. Краснодар: Кавказский филиал ЦНИИМЭ, 1988. 23 с.

Поступила 15.06.11

Wood Harvesting Technology in Mountain Forests of the Far East

A.B. Zhirnov, Doctor of Engineering, Professor

A.V. Baranov, Senior Lecturer

N.A. Kostenko, Senior Lecturer

Far East State Agricultural University, Politekhnicheskaya, 86, 675005, Blagoveshchensk, Russia

E-mail: baranovmex@mail.ru

Developing the technical process of wood harvesting in mountain forests, one must be aware of the impact of logging machines on the soil and undergrowth, depending on their technology and the natural and climatic conditions of a particular region. The most reliable way to determine whether the technical processes of mountain logging operations meet the requirements is testing them by experience. The data obtained gives an idea about the possibility of applying the wood harvesting technology in the mountains without violating the forest legislation.

To achieve this aim we field-tested the technology in wood harvesting on slopes of more than 20°. It was a passive experiment, the data of interest being reordered (quantity of undergrowth and forest thinners, the area and degree of soil cover damage). Operation testing of the developed technology was conducted in the Amur Region using the system of feller-delimber-bunchers "Timberjack 2618" with the harvester head "Timberjack 726V" + + gasoline chain saw "Husqvarna 240" + cable hauler "Owren-400Ru" on the basis of "KAMAZ" truck.

The operation testing of the proposed wood harvesting technology in mountain forests has shown that it meets the necessary requirements. This technology differs from the existing ones in terms of combination of mechanized and machine methods of logging in mountain cutting areas using haulers. The developed technology can be used outside the Far East taking into account the natural and climatic conditions of a particular region.

Keywords: cable hauler, slope, band, handler, track, trees, stockpile, soil.

REFERENCES

1. Kovalev A.P. *Ekologo-lesovodstvennyye osnovy rubok v lesakh Dal'nego Vostoka* [Ecological and Silvicultural Basis of Logging in Far Eastern Forests]. Khabarovsk, 2004. 270 p.
2. Kovalev, A. P., Matveeva A.G. Osobennosti rubok v pikhtovo-elovykh lesakh Sikhote-Alinya [Peculiarity of Logging in the Forests of the Sikhote-Alin]. *Vestnik TOGU*, 2011, no. 1 (20), pp. 125–134.
3. Kovalev V.A. *Lesovodstvennaya otsenka lesozagotovok s primeneniem agregatnykh mashin v gornykh lesakh Sikhote-Alinya: avtoref. dis. ... kand. s-kh. nauk* [Silvicultural Assessment of Logging with the Use of Modular Machines in the Mountain Forests of the Sikhote-Alin: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Ussuriysk, 2006. 23 p.
4. *Tekhnologiya lesosechnykh rabot v gornykh usloviyakh na baze kanatnykh ustanovok* [Logging Technology in the Mountains Using Cable Haulers]. Krasnodar, 1988. 23 p.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674-415

**ЗАВИСИМОСТЬ СИЛ РЕЗАНИЯ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ СТРОГАНИЯ
И ШИРИНЫ КРОМОК ФАНЕРЫ**

© *И.Т. Глебов, канд. техн. наук, доц.*
В.В. Глебов, магистр

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100
E-mail: GIT5@yandex.ru

Клееная фанера широко используется в народном хозяйстве, однако экспериментальных исследований по обрабатываемости резанием кромок фанеры нет, поэтому такая информация актуальна.

В целях получения информации о зависимости сил резания от угла перерезания волокон древесины и толщины фанеры проведены экспериментальные исследования по строганию кромок фанеры на лабораторной установке. Скорость главного движения $V = 0,035$ м/с; угол резания ножа $\delta = 55^\circ$; толщина срезаемого слоя $a = 0,07; 0,10; 0,15; 0,20$ мм; ширина строгания $b = 4, 6, 9$ мм; радиус закругления режущей кромки ножа $\rho_0 = 15$ мкм. Силы резания измеряли тензометрическим динамометром с обработкой данных аппаратно-программной средой LabView.

Образцы для исследования были выпилены из одного листа 5-слойной березовой фанеры толщиной 6,0 мм и плотностью $\rho = 0,77$ г/см³. Исследуемые кромки образцов расположены по отношению к волокнам древесины наружных (лицевых) слоев фанеры под углами 0, 30, 45, 60, 90°.

Доказано, что касательная сила резания достигает максимального значения при угле перерезания волокон древесины 45°, при угле 60° она становится меньше; с увеличением ширины строгания (толщины фанеры) силы резания изменяются не прямо пропорционально толщине фанеры, с ее увеличением они возрастают.

Ключевые слова: кромки фанеры, строгание, сила резания, направление волокон, толщина фанеры, экспериментальные исследования.

Фанера широко используется в строительстве, машиностроении, производстве мебели и др. [2]. При механической обработке фанеры резанием кромки заготовок могут быть расположены под различными углами к направ-

лению волокон древесины наружных слоев. При этом заготовки могут быть различной толщины. Исследования по строганию кромок фанеры не проводились, поэтому получение информации об обрабатываемости таких кромок актуально.

Цель работы – выявление зависимости касательной и нормальной сил резания при строгании кромок фанеры от направления волокон древесины, выходящих на обрабатываемую кромку различной ширины.

Исследования выполнены в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ на экспериментальной установке, подготовленной для изучения процесса строгания. Скорость главного движения $V = 0,035$ м/с; угол резания ножа $\delta = 55^\circ$; толщина срезаемого слоя $a = 0,07; 0,10; 0,15; 0,20$ мм; ширина строгания $b = 6$ мм – при изучении влияния положения кромки по отношению к волокнам древесины наружного слоя, $b = 4, 6, 9$ мм – при изучении влияния ширины строгания. Радиус закругления режущей кромки ножа $\rho_0 = 15$ мкм.

Для измерения сил резания использовали двухкоординатный тензометрический динамометр, смонтированный на суппорте установки с возможностью поступательного перемещения гидроприводом. При этом строгальный нож закреплен на станке неподвижно, а исследуемый образец фанеры – на тензометрическом динамометре.

Для получения и обработки данных была выбрана аппаратно-программная среда LabView, которая преобразует аналоговый сигнал в цифровой и позволяет создавать, хранить и обрабатывать базы данных на компьютере [1].

Образцы для исследования были выпилены из одного листа 5-слойной березовой фанеры толщиной 6,0 мм и плотностью $\rho = 0,77$ г/см³. Исследуемые кромки образцов расположены по отношению к волокнам древесины наружных слоев фанеры под углами 0, 30, 45, 60, 90°. Схема разметки для выпиливания образцов из листа фанеры показана на рис. 1. У образца 1 длинная кромка расположена параллельно направлению волокон наружного слоя фанеры. Длинные кромки образцов были подвергнуты обработке на станке.

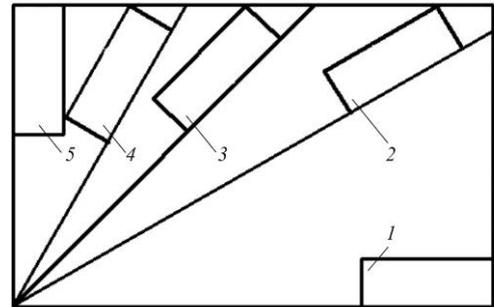


Рис. 1. Схема разметки образцов на листе фанеры при различных углах перерезания волокон: 1 – 0°; 2 – 30; 3 – 45; 4 – 60; 5 – 90°

Влияние толщины срезаемого слоя и угла перерезания волокон древесины наружных слоев листа фанеры на касательную силу резания F_x показана на рис. 2.

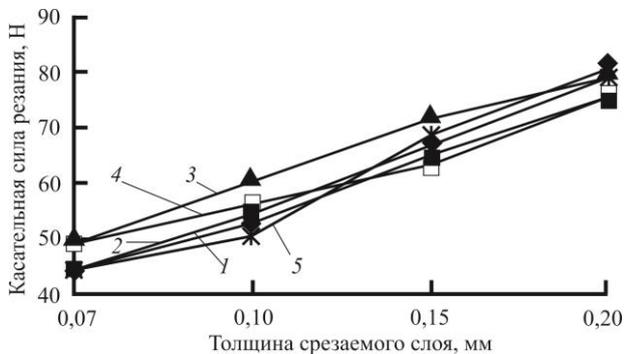


Рис. 2. Зависимость касательной силы резания при строгании кромок фанеры от толщины срезаемого слоя при различных углах перерезания волокон древесины наружных слоев фанеры (см. обозначения на рис. 1)

Максимального значения касательная сила резания достигает при угле перерезания волокон древесины 45° . Учитывая, что фанера склеена из листов шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах, для данного случая во всех слоях фанеры (наружных и внутренних) угол перерезания волокон древесины составляет 45° .

При строгании с углом перерезания волокон 60° касательная сила резания становится меньше, так как в нечетных (1, 3, 5) слоях угол перерезания равен 60° , а в четных внутренних слоях (2, 4) – 30° . Чем меньше угол перерезания волокон, тем меньше касательная сила резания.

При строгании образцов с углом перерезания волокон 30° в трех нечетных слоях угол перерезания равен 30° , в двух четных внутренних слоях – 60° .

Минимального значения касательная сила резания достигает при угле перерезания на кромке 0 и 90° . В этом случае угол перерезания волокон в четных внутренних слоях соответственно 90 и 0° .

Из рис. 2 видно, что графики проходят в узком наклонном канале и силы резания отличаются для соответствующих толщин срезаемых слоев примерно на 4 Н. В связи с этим в практических расчетах можно использовать максимальные значения силы резания для угла перерезания волокон 45° и рассчитывать их по уравнению

$$F_x = p_b + k_b a = 34,8 + 231,22a, \quad (1)$$

где p_b – фиктивная сила резания при ширине строгания b , Н;

k_b – касательное сопротивление срезаемого слоя по передней поверхности ножа при ширине строгания b , Н/мм;

a – толщина срезаемого слоя при строгании, мм.

Изменение нормальной силы F_z резания (рис. 3) от угла перерезания волокон имеет такую же закономерность, что и для касательной силы резания. Максимальное значение нормальной силы резания отмечено при угле перерезания волокон 45° , минимальное – при 0° .

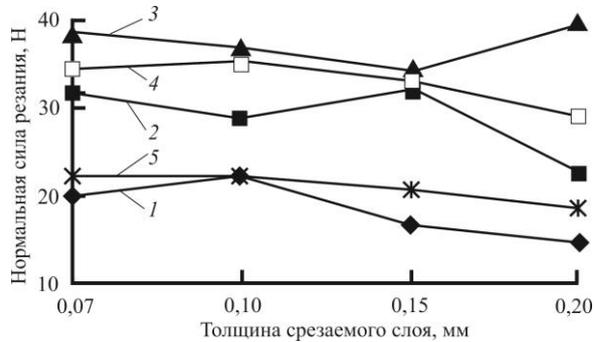


Рис. 3. Зависимость нормальной силы резания при строгании кромок фанеры от толщины срезаемого слоя при различных углах перерезания волокон древесины наружных слоев фанеры (см. обозначения на рис. 1)

Расчетное значение нормальной силы резания находят обычно из соотношения

$$m = F_z / F_x.$$

Значения m , полученные после обработки экспериментальных данных, зависят от толщины срезаемого слоя и угла перерезания волокон (рис. 4). При толщине срезаемого слоя $a = 0,07$ мм значения $m = 0,46 \dots 0,80$, при $a = 0,20$ мм – от 0,18 до 0,50. С увеличением толщины срезаемого слоя m убывает. Для угла перерезания волокон 45° можно принять $m = 0,80 \dots 0,40$.

Влияние ширины срезаемого слоя. В теории резания массивной древесины принято считать, что с изменением ширины срезаемого слоя силы резания изменяются прямо пропорционально. Если судить строго, то такой пропорциональной зависимости не должно быть, так как годовые кольца в древесине имеют различную ширину, а в пределах годовых колец зоны ранней (невызревшей) и поздней (вызревшей) древесины тоже имеют разные размеры.

В фанере тоже можно выделить слои с неодинаковыми свойствами: в нечетных слоях листы шпона расположены относительно волокон древесины продольно, в четных – поперечно. Фанера склеена из листов шпона различной толщины: 3-слойная – из листов шпона толщиной 1,50 мм; 5-слойная – 1,14 мм; 7-слойная – из листов шпона разной толщины: 1,14–1,49–2,20–1,49–2,20–1,49–1,14 мм и т.д.

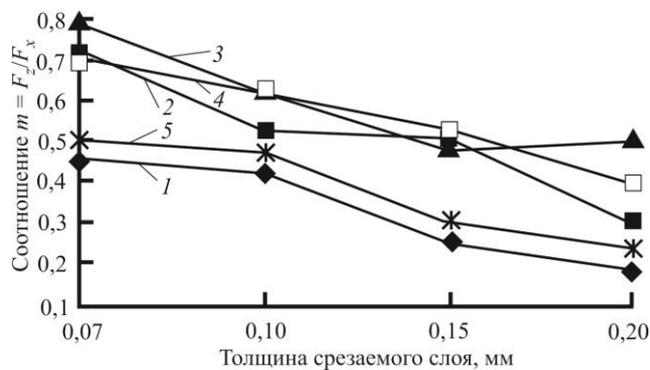


Рис. 4. Зависимость значений m при строгании кромок фанеры от толщины срезаемого слоя при различных углах перерезания волокон древесины наружных слоев фанеры (см. обозначения на рис. 1)

При резании фанеры условия перерезания волокон в слоях различны и силы резания не пропорциональны ширине срезаемого слоя. О пропорциональной зависимости можно говорить только в пределах одного слоя фанеры. При этом можно выделить одно направление, при котором во всех слоях фанеры углы перерезания волокон древесины одинаковы и равны 45° . Однако листы шпона в фанере могут быть расположены таким образом, что в одних из них резание будет по слою, в других – против слоя. Если боковая кромка фанеры расположена под углом 45° к направлению волокон наружных поверхностей, то можно ожидать, что сила резания будет прямо пропорциональна ширине срезаемого слоя.

Для проверки этого предположения были изготовлены образцы из листов фанеры толщиной 4, 6, 9 мм с направлением волокон наружных слоев под углом 45° к кромке.

Изменение касательной силы резания от толщины строгаемой фанеры можно описать следующими уравнениями:

для $t = 4$ мм

$$F_x = 15,500 + 106,23a = (3,875 + 26,5575a)4; \quad (2)$$

для $t = 6$ мм

$$F_x = 34,800 + 231,22a = (5,800 + 38,5400a)6; \quad (3)$$

для $t = 9$ мм

$$F_x = 57,436 + 447,27a = (6,380 + 49,7000a)9. \quad (4)$$

Выражения в скобках равны единичной силе, т. е. силе при ширине срезаемого слоя 1 мм. Единичные силы уравнений не равны, следовательно, касательная сила резания при увеличении ширины строгаемой кромки фанеры изменяется не прямо пропорционально.

На рис. 5 показаны графики, отражающие связь между касательной силой резания и толщиной строгаемой фанеры и толщиной срезаемого при строгании слоя кромки.

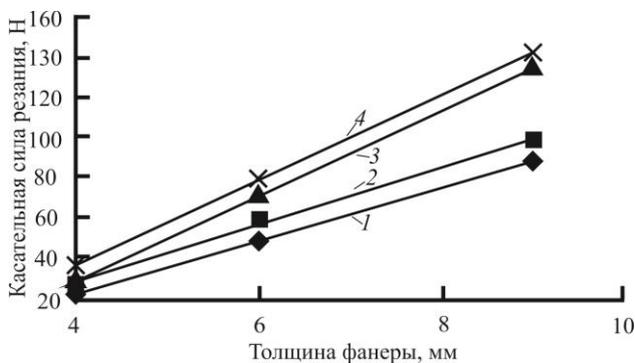


Рис. 5. Зависимость касательной силы резания от толщины фанеры при различной толщине срезаемого слоя кромки: 1 – $a = 0,07$ мм; 2 – 0,10; 3 – 0,15; 4 – 0,20 мм

Изменение касательной силы резания от толщины фанеры при разной толщине срезаемого слоя можно описать следующими уравнениями прямых линий:

для $a = 0,07$ мм $F_x = -29,320 + 13,045t;$

для $a = 0,10$ мм $F_x = -27,595 + 14,089t;$

для $a = 0,15$ мм $F_x = -54,280 + 20,950t;$

для $a = 0,20$ мм $F_x = -45,570 + 20,825t.$

Уравнения (5) запишем в общем виде:

$$F_x = p_a + k_a t, \quad (6)$$

где p_a и k_a – коэффициенты уравнения.

Коэффициент p_a зависит от толщины срезаемого слоя a :

a , мм	0,07	0,10	0,15	0,20
p_a	-29,320	-27,595	-54,280	-45,570

Построив график, получим уравнение линии тренда этой зависимости:

$$p_a = -22,16 \ln(a) - 86,109.$$

Коэффициент k_a также зависит от a . Из уравнения (5) имеем

$$k_a = 8,3212 + 68,508a.$$

Подставим p_a и b_a в уравнение (6) и получим зависимость касательной силы резания от толщины срезаемого слоя и толщины фанеры (ширины строгания кромки):

$$F_x = - [22,16 \ln(a) + 89,109] + (8,3212 + 68,508a)t. \quad (7)$$

Удельная сила резания. Удельную силу резания $F_{уд}$ найдем как отношение единичной касательной силы резания к толщине срезаемого слоя. Из уравнений (2) – (4) для фанеры разной толщины определим удельную силу резания:

для $t = 4$ мм $F_{уд} = 26,5575 + 3,875/a; \quad (8)$

для $t = 6$ мм $F_{уд} = 38,5400 + 5,800/a; \quad (9)$

для $t = 9$ мм

$$F_{уд} = 49,7000 + 6,380/a. \quad (10)$$

Из уравнений (8) – (10) следует, что с увеличением толщины срезаемого слоя удельная сила резания убывает, а с увеличением толщины фанеры она возрастает.

Учитывая, что касательная сила резания изменяется не прямо пропорционально ширине строгания, ее можно рассчитать, используя следующее выражение:

$$F_x = F_{уд} at \quad (11)$$

Выводы

1. При строгании кромок фанеры максимальные значения силы резания получены при угле перерезания волокон 45° по отношению к наружному слою фанеры. При выполнении практических расчетов сил резания это направление можно считать основным.

2. С увеличением ширины строгания силы резания изменяются не прямо пропорционально толщине фанеры.

3. С ростом толщины фанеры удельная сила резания возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Е.В. Разработка прикладного программирования в среде Labview: учеб. пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 230 с.
2. Глебов И.Т., Глебов В.В. Оборудование для производства и обработки фанеры. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 352 с.

Поступила 17.10.12

Dependence of Cutting Forces on Planing Direction and Plywood Edge Width

I.T. Glebov, Candidate of Engineering, Associate Professor
V.V. Glebov, Master

The Ural State Forest Engineering University, Sibirsky Trakt, 37, 620100,
 Yekaterinburg, Russia
 E-mail: GIT5@yandex.ru

Plywood is widely used in national economy, but there are no experimental studies on edge cutting machining of plywood. Thus, such data is highly relevant.

In order to obtain information about the dependence of the cutting forces on the wood fiber cutting angle and plywood thickness, we conducted a number of experimental studies on plywood edge planing in laboratory settings. The stroking speed $V = 0.035$ m/s, the blade cutting angle $\delta = 55^\circ$, the thickness of the layer being cut $a = 0.07; 0.1; 0.15; 0.2$ mm. Planing width $b = 4; 6; 9$ mm. The tool edge radius $\rho_0 = 15$ μm . Cutting forces were

measured by a strain-gauge dynamometer, the data being processed by the hardware-software environment LabView.

The samples were sawn from a single sheet of five-layer birch plywood 6.0 mm thick and 0.77 g/cm³ dense. The sample edges are set to the wood fibers of the outer (inner) layers of plywood at angles of 0°; 30°; 45°; 60°; 90°.

We proved that tangential cutting force reaches its maximum at a fiber cutting angle of 45°. At an angle of 60°, tangential cutting force is lesser.

Additionally, we showed that with increase in the planing width (plywood thickness) the cutting forces do not vary directly as the plywood thickness. With increase in the plywood thickness the value of specific cutting force goes up.

Keywords: plywood edge, planing, cutting force, direction of fibers, plywood thickness, experimental study.

REFERENCES

1. Vinogradova N.A., Listratov Ya.I., Sviridov E.V. *Razrabotka prikladnogo programmirovaniya v srede Labview* [Development of Application Programming in Labview]. Moscow, 2005. 230 p.
 2. Glebov I.T., Glebov V.V. *Oborudovanie dlya proizvodstva i obrabotki fanery* [Equipment for Plywood Production and Processing]. St. Petersburg, 2012. 352 p.
-

УДК 662.6/9(075.8)+621.1(075.8)

ВЫБОР ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

© *А.Э. Пиир, д-р техн. наук, проф.*
В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
Тел.: +79115686819

В.Б. Кунтыш, д-р техн. наук, проф.

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а,
г. Минск, Республика Беларусь, 220006
Тел.: +7(375-17) 226-46-12

Архангельская область – самая холодная из обжитых территорий Европы, лишена запасов минерального топлива. Повышенное потребление энергии, высокие тарифы на тепло и электричество делают убыточной и не конкурентоспособной любую производственную деятельность, ведут к свертыванию традиционных отраслей промышленности и оттоку населения из региона.

Расчеты показывают, что область обладает огромными возобновляемыми запасами биотоплива, способными покрыть около половины потребности в привозных энергоресурсах: каменном угле, мазуте и газе.

Потребительские свойства различных видов древесного топлива резко отличаются по качеству и стоимости, поэтому его эффективное использование требует выработки четкой региональной политики, как это имеет место у наших соседей в Финляндии и Швеции, делающей его одинаково привлекательным как для инвесторов, так и для потребителей.

В статье приведены методика и результаты расчета себестоимости производства теплоты в котельных, работающих на различном местном древесном топливе, выполнено сравнение показателей котельных на самом дорогом и самом дешевом из привозных минеральных топлив (мазут и каменный уголь).

Показано, что древесная щепа и каменный уголь гарантируют одинаково низкую себестоимость теплоты (579 и 682 р./Гкал), а древесные гранулы и мазут – одинаково высокую (1243 и 1197 р./Гкал). Отходы лесопиления (опилки и кора) обеспечивают минимальную себестоимость теплоты (356 р./Гкал) при сжигании их в местах образования.

Основные направления, рациональной политики в области малой энергетики:
использование древесных отходов лесопиления в производственных котельных и мини-ТЭЦ лесопильных заводов;

широкое применение древесной щепы в отопительных котельных поселков, расположенных в местах заготовки леса;

развитие экспортного производства древесных гранул и древесного угля, а также энергохимической переработки отходов древесины для освоения всего потенциала возобновляемой «зеленой» энергии.

Ключевые слова: древесное топливо, себестоимость теплоты, коммунальная энергетика, ресурсы биомассы.

В Архангельской области на обогрев жилья и производственную деятельность жители вынуждены тратить теплоты в 2–2,5 раза больше, чем в Скандинавских странах и Канаде, расположенных на той же широте [3]. Кроме того, районные коэффициенты и северные доплаты к зарплате, составляющие в сумме 70 %, заметно повышают себестоимость продукции во всех отраслях.

В этих условиях промышленное производство на Севере может быть рентабельным на внутреннем и конкурентоспособным на внешнем рынках только при низких тарифах на теплоту и электроэнергию, что возможно лишь при дешевом топливе и рациональной политике в области тарифообразования, гарантирующей прибыль энергопроизводителям. Начатое еще в 1991 г. по инициативе общественной организации «Экология Севера» строительство газопровода Нюксеница – Архангельск растянулось на 20 лет. За этот период цена газа выросла многократно, поэтому подача газа в Архангельскую область не оставила надежды потребителям на низкие тарифы. Резкий спад производства в Архангельской области в 90-х гг. был вызван двойным увеличением тарифа на энергию по сравнению со средним по России уровнем [2].

Половина территории Архангельской области (без НАО) покрыта лесами. Древесина во все времена была естественным материалом для строительства жилья, а дрова – единственным местным топливом для его обогрева. Заготовка и переработка древесины – это традиционные занятия населения области, проживающего в мелких поселках по берегам рек и вдоль железной и шоссейных дорог.

Общий запас древесины Архангельской области достигает 211 Мм³, ежегодный прирост – 33 Мм³, научно обоснованный объем заготовки – 29 Мм³. В лесах преобладают ценные хвойные породы (ель, сосна – 83 %), остальное приходится на лиственные породы (береза, осина – 17 %). Из-за отсутствия надлежащего ухода средняя продуктивность лесов области в 2 раза ниже потенциально возможного по природным условиям уровня и составляет 90...140 м³/га, в то время как в Финляндии – 250 м³/га [2].

Оценим ресурс «зеленой» энергии, образующейся в Архангельской области при заготовке древесины и производстве пиломатериалов.

Максимальная вывозка древесины (22,6 Мм³) была достигнута в 1990 г., при этом объем биомассы брошенных лесосечных отходов – 6,0 Мм³, пней – 5,0 Мм³, т. е. общие потери (11,0 Мм³) биомассы, пригодной для переработки в щепу, равнялись половине от объема заготовки древесины. Производство пиломатериалов в 1990 г. составило 5,00 Мм³ при объеме кусковых отходов, опилок и коры 1,25 Мм³ [2].

Теплоту сгорания и энергетические эквиваленты 1 плотного м³ древесного топлива, состоящего на 2/3 из щепы лесозаготовок и на 1/3 из коры и опилок, примем по данным НИИ леса Финляндии METLA [1]:

$$1 \text{ м}^3 = 2,0 \text{ МВт} \cdot \text{ч} = 7,2 \text{ ГДж} = 1,72 \text{ Гкал} = 0,246 \text{ т у.т.}$$

При сжигании 1 м³ на ТЭЦ можно получить 0,6 МВт·ч электроэнергии и 1,2 МВт·ч теплоты на отопление [1].

Тепловой потенциал отходов заготовки древесины и производства пиломатериалов Архангельской области в 1990 г. составил (не менее)

$$Q_{\text{отх}} = (11,00 + 1,25) \cdot 10^6 \cdot 7,2 = 90,0 \cdot 10^6 \text{ ГДж} = 3,1 \cdot 10^6 \text{ т у.т.}$$

Оценим годовое потребление теплоты на коммунальные нужды населением Архангельской области. По санитарно-гигиеническим нормам на одного жителя полагается теплоты, Гкал/год: отопление жилых зданий – 3,4; отопление и вентиляция общественных зданий – 1,0; горячее водоснабжение – 2,0; бани, столовые, прачечные – 0,6. Итого – 7,0 Гкал/год [3].

При численности населения Архангельской области 1,43 млн чел. расчетное потребление теплоты на коммунальные нужды

$$Q_{\text{пот}} = 7,0 \cdot 1,43 \cdot 10^6 = 10,0 \cdot 10^6 \text{ Гкал} = 41,86 \cdot 10^6 \text{ ГДж.}$$

Таким образом, производство зеленой энергии в 1990 г. в 2 раза превышало расчетное потребление теплоты на коммунальные нужды, и, как видно ниже, способно покрыть более 40 % максимальной годовой потребности области в топливе.

В крупных городах (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Коржма) сосредоточено 2/3 населения области, которое получает централизованное теплоснабжение от городских и промышленных ТЭЦ, работающих на минеральном привозном топливе.

В советское время сельская коммунальная энергетика была ориентирована на сжигание каменного угля и мазута, поскольку котельные для этого топлива были более надежны и механизированы по сравнению с дровяными котельными, а дешевое мазутное топливо имелось в избытке.

Максимум потребления энергоресурсов (7,3 Мт у.т.) Архангельская область достигла в 2000 г., при этом только 8 % потребности покрывалось местным топливом (дрова, отходы лесопильного производства, торф, гидролизный лигнин, отходы ЦБП), остальное – за счет поставок природного газа из Западной Сибири и НАО, мазута с нефтеперегонных заводов Уфы, Ухты, Ярославля, каменного угля из Воркуты и Печоры. Кроме того, в 2000 г. область закупила на федеральном оптовом рынке России 1,5 млрд кВт·ч электроэнергии (33 % от потребности) [2].

Рост цен на мазут и газ, проблемы с доставкой угля, появление на рынке полностью механизированных топок для сжигания высоковлажного древесного топлива и гранулированного древесного топлива потребовало пересмотра

топливной политики в сельской энергетике в сторону широкого использования древесных отходов в местах их образования. Огромные объемы брошенных лесосечных древесных отходов требуют расширения способов их утилизации: на мини-ТЭЦ для комбинированной выработки теплоты и электроэнергии; получение генераторного газа, древесного угля, жидкого топлива; энергохимическая переработка и т.д.

Потребительские качества разных видов древесного топлива зависят от его происхождения и могут резко отличаться между собой по полезным свойствам и стоимости.

1. Древесная щепа из отходов лесозаготовок (ветки, вершины, пни). Влажность – свыше 40 %, из отходов после естественной их сушки – 25 %; теплота сгорания щепы – 11,0...15,0 МДж/кг. Стоимость (500...700 р./м³) определяется расходами на сбор, измельчение и вывозку. Экономически оправдана транспортировка щепы на расстояние до 30...50 км.

2. Отходы лесопиления (кора, опилок, кусковые отходы). Влажность – 45 %, теплота сгорания – 9,5 МДж/кг. Стоимость – нулевая. Не требует удаленной транспортировки, так как образуется недалеко от мест сжигания (производственные котельные).

3. Дрова из отходов лесозаготовок и рубок ухода. Стоят дешево, после естественной сушки в течении года имеют влажность 25 % и теплоту сгорания 15,0 МДж/кг.

4. Древесные гранулы, полученные из отходов лесопиления. Влажность – 7...8 %, высокая теплота сгорания 17,6 МДж/кг. Стоимость (до 4000 р./т) связана с высокими затратами энергии на помол, сушку и прессование. На приготовление 1 т гранул требуется 4,3 м³ щепы и сложное дорогостоящее импортное оборудование. Допускают дальние перевозки и длительное хранение в специальных условиях.

Обращает на себя внимание резкая диспропорция между ценой и теплотой сгорания различных видов топлива. Обобщающей характеристикой топлива является стоимость его теплоты сгорания c_t , равная отношению стоимости топлива c_b к теплоте сгорания Q_n^p :

$$c_t = c_b / Q_n^p.$$

Для отходов лесопиления и древесных гранул себестоимость теплоты сгорания различается более чем в 20 раз, что влияет на стоимость теплоты, отпускаемой потребителям.

Рассмотрим экономическую сторону выработки тепла в котельных, использующих различные виды топлива. Как известно, наилучшим топливом является то, которое обеспечивает минимальную себестоимость теплоты при производстве и максимальную прибыль при реализации ее по рыночным ценам:

$$C = \alpha K + c_b B + \dots, \quad (1)$$

где α – доля годовых отчислений;

K – капиталовложения в котельную;

B – годовой расход топлива.

На эти два слагаемых в годовой себестоимости приходится более 80 %, поэтому остальными составляющими можно пренебречь.

Воспользуемся зависимостями для капитальных вложений в котельные K , годового расхода топлива B и годового отпуска теплоты Q :

$$K = \kappa_{уд} Q_{уст}; \quad (2)$$

$$B = Q / Q_n^p \eta_k; \quad (3)$$

$$Q = Q_{уст} \tau, \quad (4)$$

где $\kappa_{уд}$ – удельные капиталовложения;

$Q_{уст}$ – тепловая мощность котельной;

η_k – КПД котельной;

τ – число часов использования установленной тепловой мощности.

При сжигании высоковлажных древесных отходов η_k может превышать 100 %, если использовать теплоту конденсации влаги из уходящих продуктов сгорания.

Удельная себестоимость получения теплоты в котельной

$$c = \frac{C}{Q} = \frac{\alpha \kappa_{уд}}{\tau} + \frac{c_b}{\eta_k Q_n^p} = c_k + c_t / \eta_k, \quad (5)$$

где c_k – капитальная составляющая в себестоимости получения теплоты (или отчисления от капитальных затрат).

Для сжигания древесного топлива применяют либо специальные топки, либо котлы известных марок с реконструированной топкой.

Исходя из известной цены для небольшой котельной с паровыми мазутными котлами [3] и с учетом коэффициента индексации (10^2) цен 1990 г. в цены 2012 г., удельные капитальные вложения

$$\kappa_{уд} = 40 \cdot 10^3 \cdot 10^2 = 4 \cdot 10^6 \text{ р./МВт.}$$

Примем удорожание для котельных на каменном угле, дровах и древесных гранулах – 15 %, для котельных на щепе и влажных древесных отходах – 25 %.

Тогда капитальная составляющая в себестоимости получения теплоты:

для мазутной котельной $c_k = \frac{\alpha \kappa_{уд}}{\tau} = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^6}{2000 \cdot 3600} = 56 \text{ р./ГДж};$

для котельной на угле и древесных гранулах – 60 р./ГДж;

для котельной на щепе и дровах – 69 р./ГДж;

для котельной на влажных древесных отходах лесопиления – 75 р./ГДж.

Топливо	Влажность W, %	Плотность ρ , кг/м ³	Теплота Q_n^p , МДж/кг	КПД котла η	Стоимость		Отчисления от капзатрат, р./ГДж	Удельная себестоимость получения теплоты	
					1кг топлива c_v , р.	теплоты сгорания c_t , р./ГДж		р./ГДж	р./Гкал
Щепа из отходов лесозаготовок	40	850	11,0	0,90... 1,10	500*; 0,60	55	69	124	579
Дрова	25	750	15,0	0,90... 1,00	250*; 0,33	22	69	91	381
Отходы лесопиления	45	800	9,5	0,90... 1,15	0,1	10	75	85	356
Древесные гранулы	7	700	17,6	0,90	4,0	230	60	297	1243
Мазут	0	–	36,0	0,85	8,0	22	56	286	1197
Каменный уголь	0	–	24,0	0,75	2,0	83	60	163	682

* Стоимость 1 м³ топлива в рублях.

Результаты расчетов удельной себестоимости производства теплоты, полученной в котельных на различном древесном топливе, выполненные по формуле (5), приведены в таблице, для сравнения там же приведены показатели котельных, сжигающих самое дорогое и самое дешевое из минеральных топлив – соответственно мазут и каменный уголь.

Древесная щепа и каменный уголь гарантируют одинаково низкую себестоимость теплоты (579 и 682 р./Гкал), древесные гранулы и мазут – одинаково высокую (1243 и 1197 р./Гкал). Отходы лесопиления являются «чемпионом», так как обеспечивают минимум себестоимости теплоты (356 р./Гкал) при сжигании их в местах образования.

Таким образом, с экономической точки зрения самым выгодным древесным топливом для районных котельных является щепа местных лесозаготовительных предприятий, которая обеспечит производителю тепла максимальную прибыль при фиксированном региональном тарифе.

Этот вывод подтверждает опыт использования древесного топлива в Финляндии, которая является мировым лидером в области заготовки и переработки древесины [1].

В 2009 г. финский ЛПК использовал 44 Мм³ отечественной и 5 Мм³ импортной древесины. В лесах Финляндии образуется 20,0 Мм³ древесных отходов (пни, лесосечные отходы, рубки ухода), из которых 4,6 Мм³ – щепа, 1 Мм³ – дрова. Использованные в 2009 г. 22 Мм³ древесного топлива имели следующий состав, Мм³: кора – 7,0; дрова – 6,0; щепа – 4,6; опилки – 3,4; пеллеты – 1 (5 %). Низкая доля применения дорогого облагороженного древесного топлива (пеллет) объясняется широким развитием сельской коммунальной энергетики и стремлением извлечения прибыли при производстве тепловой энергии за счет низкой себестоимости древесного топлива из отходов на широком гарантированном рынке внутреннего потребления теплоты.

Рациональная политика в области малой сельской энергетики заключается в широком использовании местного древесного топлива, обеспечиваю-

щего производство дешевой энергии для коммунальных и промышленных потребителей:

использование древесных отходов лесопиления в производственных котельных и мини-ТЭЦ лесопильных заводов;

широкое применение древесной щепы в отопительно-коммунальных котельных поселков, расположенных в местах заготовки леса;

для освоения всего потенциала зеленой энергии развитие экспортного производство древесных гранул, древесного угля, энергохимической переработки щепы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю. Анализ энергии древесины, заготовленной и поставленной в Финляндию: материалы Междунар. лесного форума, 6–8 апр. 2011 г. Архангельск. С. 8–12.
2. Поморская энциклопедия. Т. 3. Экономика Архангельской области. Архангельск, 2006. 636 с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд-во МЭИ, 2006. 380 с.

Поступила 02.11.12

Choice of Wood Fuel for Small-Scale Power Generation

A.E. Piir, Doctor of Engineering, Professor

V.I. Melekhov, Doctor of Engineering, Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
Tel.: +79115686819

V.B. Kuntysh, Doctor of Engineering, Professor

Belarusian State Technological University, Sverdlova, 13a, 220006 Minsk, Belarus
Tel.: +7 (375-17) 226-46-12

Arkhangelsk Region – the coldest inhabited area in Europe – is lacking mineral fuel reserves. Power consumption higher than the average and high prices for heat and electricity make any production unprofitable and uncompetitive, leading to decline in traditional industries and outflow of population.

Our calculations showed that the region has vast reserves of renewable biofuel able to satisfy half of the demand for imported energy resources: coal, fuel oil, and gas.

Consumer properties of different wood fuels vary greatly in price and quality. Therefore, their effective use requires a clear regional policy, as is the case with our neighbours in Finland and Sweden, who have managed to make them equally attractive to both investors and consumers.

The paper presents the methodology and calculated cost price for heat production in boiler-houses using various local wood fuels. In addition, it compares the performance of

boiler-houses using the most expensive and the cheapest imported mineral fuels: fuel oil and coal.

Wood chips and coal guarantee equally low cost price for heat (579 and 682 roubles per Gcal), while wood pellets and oil – equally high cost price of 1,243 and 1,197 roubles per Gcal respectively. Lumber waste (chips and bark) provide a minimum cost price of 356 roubles per Gcal when burnt in the locality.

Thus, a rational policy of small-scale power generation includes the following:

1. use of lumber waste in industrial boiler-houses and mini-CHPs at saw mills;
2. extensive use of wood chips in boiler-houses of the settlements located in logging areas;
3. in order to develop the full potential of renewable "green" energy we need to establish export production of wood pellets and charcoal, as well as energy and chemical processing of wood waste.

Keywords: wood fuel, cost price of heat, public energy service, biomass resources.

REFERENCES

1. Gerasimov Yu.Yu. Analiz energii drevesiny, zagotovlennoy i postavlennoy v Finlyandiyu [Analysis of Energy of Wood Harvested and Delivered to Finland]. *Proc. International Forest Forum*, Arkhangelsk, 6–8 April 2011. pp. 8–12.
 2. *Pomorskaya Entsiklopediya. T. 3. Ekonomika Arkhangel'skoy oblasti* [Pomor Encyclopaedia. Vol. 3. Economy of the Arkhangelsk Region]. 2006. 636 p.
 3. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [Installation of Heating Systems]. Moscow, 2006. 380 p.
-



УДК 676.1.054.1

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ
ПОЛУФАБРИКАТОВ**

© *Н.Г. Чистова, д-р техн. наук, проф.*

Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета, ул. Победы, 29, г. Лесосибирск, Красноярский край, Россия, 662546
E-mail: chistova_n_g@mail.ru

Снижение энергопотребления размалывающих машин и определение оптимальных режимов их работы в технологическом процессе производства древесноволокнистых плит (ДВП) является принципиально важным. Цель работы – исследование удельного расхода электроэнергии для достижения требуемой степени помола древесного полуфабриката при заданных конструктивных и технологических параметрах размалывающих машин.

Исследования проводили в производственных условиях, на промышленных установках заводов ДВП лесопромышленного комплекса г. Лесосибирска.

Результаты экспериментальных исследований обработаны методами, разработанными для получения математических моделей с целью описать объект исследования (удельный расход электроэнергии) и найти оптимальные условия функционирования исследуемой системы (размольный участок).

Получено статистическо-математическое описание взаимосвязи факторов степени помола, технологических, конструктивных параметров размольных машин и удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на размол. Установлено, что степень помола древесного волокна, качественные характеристики плит и затраты электроэнергии на размол зависят от одних и тех же факторов и коррелируют между собой.

На основании полученных результатов можно определить и установить такие параметры процесса размола, при которых показатели физико-механических свойств плит будут наилучшими при возможно минимальных затратах электроэнергии на размол как для мокрого, так и для сухого способа производства древесноволокнистых плит.

Ключевые слова: электроэнергия, оптимизация, критериальный параметр, градус помола, древесноволокнистая масса, рафинатор, дефибратор, рафинер.

Получение древесных полуфабрикатов – наиболее энергоемкий процесс при производстве древесноволокнистых плит (ДВП). Результаты исследований зависимости удельного расхода электроэнергии от технологических и

конструктивных параметров размольных установок, степени помола древесноволокнистой массы показали, что удельный расход электроэнергии возрастает при повышении степени помола, увеличения износа рабочей поверхности гарнитуры, концентрации древесной массы, частоты вращения выносного шнека, уменьшения зазора между сегментами.

Расход электроэнергии на операцию подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов в производстве ДВП мокрым и сухим способами различен в связи с тем, что при мокром способе производства размол осуществляется в две ступени, при сухом – в одну. Вопрос снижения энергопотребления размалывающих машин и определение оптимальных режимов их работы, которые обеспечивали бы необходимое качество размола при минимальных энергозатратах особенно актуален для предприятий, эксплуатирующих морально и физически устаревшее оборудование. Это требует теоретического исследования на базе углубленного изучения механизма размола существующих размалывающих машин [4].

Несмотря на ограниченность технологических возможностей наращивания мощности технологического процесса производства ДВП, проведение исследований по выявлению количественных взаимосвязей между удельным расходом электроэнергии на размол и режимными параметрами процесса размола целесообразно.

В качестве управляемых факторов воздействия, влияющих на удельный расход электроэнергии, выбраны основные технологические и конструктивные параметры размалывающих машин: ДС – степень помола массы; L/h – износ сегментов (отношение ширины ячейки L к высоте ножа h); z – зазор между дисками, мм; n – частота вращения выносного шнека, об/мин; c – концентрация массы при всех прочих равных условиях технологического процесса и сохранении качественных показателей ДВП. Будем считать, что влажность щепы, ее фракционный состав, температура, давление в пропарочной камере, продолжительность пропаривания, удельное давление между дисками, дополнительные затраты на содержание оборудования, цеховые расходы и пр. остаются постоянными при варьировании технологических режимов размола [3].

Наложим на исследуемые параметры двусторонние ограничения:

$$\begin{aligned} L/h_1 (-1) \leq L/h (0) \leq L/h_2 (+1); \quad z_1 (-1) \leq z (0) \leq z_2 (+1); \\ n_1 (-1) \leq n (0) \leq n_2 (+1); \quad c_1 (-1) \leq c (0) \leq c_2 (+1). \end{aligned} \quad (1)$$

Обозначим:

E_{x1} и E_{x2} – расход электроэнергии на размол древесного сырья из хвойных пород (процент хвойной древесины $\Pi_x = 100\%$; лиственной $\Pi_l = 0\%$) соответственно при минимальных ($X_1 = (L/h_1, z_1, n_1, c_1)$) и максимальных ($X_2 = (L/h_2, z_2, n_2, c_2)$) значениях исследуемых параметров размола;

$E_{л1}$ и $E_{л2}$ – расход электроэнергии на размол сырья из лиственных пород ($\Pi_{л} = 100\%$; $\Pi_{х} = 0\%$) при тех же параметрах размола.

Расход электроэнергии E_1 , при X_1 для некоторой смеси хвойных и лиственных пород и расход E_2 для этой же смеси пород при X_2 найдем из следующих выражений:

$$E_1 = E_{х1} - \frac{E_{х1} - E_{л1}}{100} \Pi_{л}; \quad (2)$$

$$E_2 = E_{х2} - \frac{E_{х2} - E_{л2}}{100} \Pi_{л}. \quad (3)$$

Расход электроэнергии на размол смеси хвойных и лиственных пород при некоторых значениях $X = L/h$, z , n , c выразим формулой

$$E = E_1 - \frac{E_1 - E_2}{X_2 - X_1} (X - X_1). \quad (4)$$

Подставим в (4) значения E_1 и E_2 из уравнений (2) и (3):

$$E = E_{х1} - \frac{E_{х1} - E_{л1}}{100} \Pi_{л} - \frac{100(E_{х1} - E_{х2}) + (E_{х2} + E_{л2} - E_{х1} + E_{л1}) \Pi_{л}}{100(X_2 - X_1)} (X - X_1). \quad (5)$$

Тогда удельный (на 1 т плит) расход электроэнергии

$$E_{м} = \frac{E V_{м}}{V_{а.с.в.}}, \quad (6)$$

где $V_{м}$ – расход размолотой массы,

$$V_{м} = V_{а.с.в.} \frac{1}{1 - \alpha}, \quad (7)$$

$V_{а.с.в.}$ – выход абс. сухого волокна, т/ч;

α – коэффициент, зависящий от породы и состояния древесины.

Запишем

$$E_{м} = \frac{E}{1 - \alpha}. \quad (8)$$

Определим затраты электроэнергии на размол в целом, выразив их через технологические и конструктивные параметры размалывающих машин:

$$З_p = \frac{V_{др} C_{л} + V_{а.с.в.} E_p C_3 + V_{ш} C_7}{V_{а.с.в.}}, \quad (9)$$

где $З_p$ – затраты на размол 1 т древесноволокнистой массы, р./т;

$V_{др}$ – объемный расход древесины, м³/ч;

E_p – расход электроэнергии на размол 1 т древесноволокнистой массы, кВт·ч/т;

$V_{ш}$ – расход теплоты на пропарку щепы, ккал/ч;
 $C_d, C_э, C_T$ – стоимость соответственно древесины, электроэнергии и теплоты, р./м³, р. кВт·ч и р./ккал.
 Стоимость смеси пород древесины

$$C_d = C_x - 0,01 \Pi_n (C_x - C_n). \quad (10)$$

Таким образом, по уравнению (5) можно определить расход электроэнергии на размол 1 т древесноволокнистой массы.

Для подтверждения теоретических исследований энергозатрат при получении древесноволокнистых материалов и установления количественной взаимосвязи факторов степени помола, технологических, конструктивных параметров размольных машин и удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на размол, спланирован и реализован многофакторный эксперимент.

В процессе исследований при каждом изменении одного из технологических и конструктивных параметров размола фиксировали удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на данную операцию [1].

С целью установить зависимость удельного расхода электроэнергии от варьирования технологических и конструктивных параметров размалывающих машин выбраны следующие основные характеристики моделей:

дефибратор и рафинер

$$E = f(L/h, z, n, ДС); \quad (11)$$

рафинатор

$$E = f(L/h, z, c, ДС). \quad (12)$$

По результатам многочисленных предварительных экспериментов для мокрого способа производства были установлены следующие диапазоны варьирования исследуемых факторов:

$$1,15 \leq L/h \leq 3,29; \quad 0,05 \leq z \leq 0,15; \quad 12 \leq n \leq 15,4; \quad 2,5 \leq c \leq 3,5;$$

дефибратор

$$10,7 \leq ДС \leq 13,7;$$

рафинатор

$$14,5 \leq ДС \leq 21,5;$$

для сухого способа производства:

$$1,15 \leq L/h \leq 3,29; \quad 0,25 \leq z \leq 0,55; \quad 20 \leq n \leq 40.$$

В результате планирования и реализации экспериментальных исследований получены статистическо-математические уравнения [4] для определения выходной величины эксперимента – удельного расхода электроэнергии для дефибратора (E_d), рафинатора (E_p) и рафинера ($E_{рафинер}$):

$$E_d = 179,52 + 2,6 (L/h) - 39,4z + 2,46n + 0,07(L/h)^2 - 25z^2 + 0,02n^2 - 5,63((L/h)z) - 0,09 ((L/h)n) + 1,47(zn); \quad (13)$$

$$E_d = 4281,86 - 672,8 (ДС) + 27,7 (ДС)^2; \quad (14)$$

$$E_p = 621,16 - 13,27(L/h) - 167,05z - 312,46c + 2,48(L/h)^2 + 3876z^2 + 79,76c^2 - \\ -15,63((L/h)z) - 0,94 ((L/h)c) - 347,8(zc); \quad (15)$$

$$E_p = 155680 + 16745(ДС) + 470(ДС)^2; \quad (16)$$

$$E_{\text{рафинер}} = 1245,43 + 11,62L/h - 2504,27z - 6,67n + 1,94L/h^2 + \\ + 2074,17z^2 + 0,2n^2 - 27,65L/hz + 0,41L/hn + 8,88zn. \quad (17)$$

Все полученные уравнения адекватны при доверительной вероятности 95...99 %. Достоверность аппроксимации $0,9902 \leq R^2 \leq 0,9987$.

По уравнениям построены графические зависимости удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на размол, при различных режимах работы (рис. 1, 2).

Из рис. 1, а, б, видно, что при повышении степени помола на дефибраторе удельный расход электроэнергии увеличивается. Например, для степени помола 12,0 ДС удельный расход электроэнергии составляет 210 кВт·ч/т, для 13,0 ДС – 234 кВт·ч/т.

Исследования показали, что наибольшее влияние на расход электроэнергии оказывают зазор между дисками и частота вращения выносного шнека дефибратора. При износе размольной гарнитуры несколько повышается расход электроэнергии и снижается производительность машин. Из рис. 1, в, г

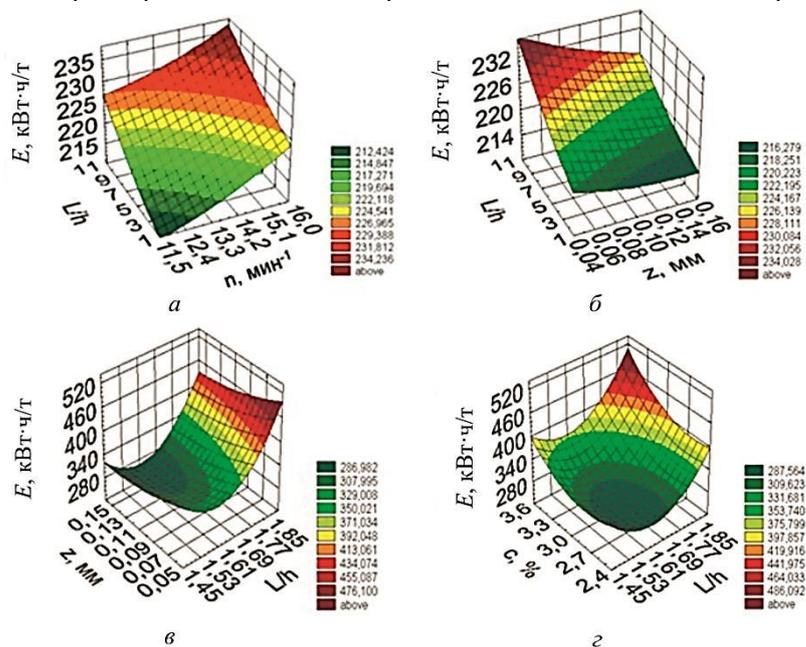


Рис. 1. Удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на размол, при различных режимах работы дефибратора (а, б) и рафинатора (в, г)

видно, что при варьировании исследуемых факторов наименьшее значение удельного расхода электроэнергии на рафинаторе составит 270 кВт·ч/т при степени помола 18,5 ДС.

При степени помола 16,0 ДС расход электроэнергии составит 320 кВт·ч/т, при уменьшении этого показателя до 17,0 ДС расход электроэнергии снижается до 290 кВт·ч/т. Таким образом, при увеличении степени помола массы на 1,0...2,0 ДС расход энергии возрастает примерно на 10 %.

Анализируя изменение удельного расхода электроэнергии для обеих ступеней размола при мокром способе производства ДВП, можно отметить, что поддерживать чрезмерно высокий уровень степени помола как для дефибратора, так и для рафинатора нецелесообразно с точки зрения расхода электроэнергии. При износе сегментов до 90 %, уменьшении зазора между размалывающими дисками, а также увеличении частоты вращения выносного шнека удельный расход электроэнергии увеличивается. Скорость вращения нижнего шнека оказывает на расход электроэнергии большее влияние, чем величина зазора. Так, для $z = 0,15$ мм и при $n = 12,0$ об/мин удельный расход электроэнергии составит 215 кВт·ч/т; для $z = 0,15$ мм и при $n = 15,0$ об/мин – $E = 226,5$ кВт·ч/т; для $z = 0,05$ мм и при $n = 12,0$ об/мин – $E = 218,5$ кВт·ч/т; для $z = 0,05$ мм и при $n = 15,0$ об/мин – $E = 232$ кВт·ч/т. При фиксировании L/h на минимальном (износ – 10 %) уровне зависимость удельного расхода электроэнергии от изменения тех же самых конструктивных параметров размалывающей машины сохраняется, но его значения изменяются на 5...8 кВт·ч/т.

С увеличением степени помола удельный расход электроэнергии возрастает. Анализируя уравнения (4) и (6), можно отметить, что при размоле щепы повышение степени помола до 11,0 ДС удельный расход электроэнергии остается неизменным, дальнейшее повышение степени помола приводит к увеличению расхода электроэнергии. Например, для степени помола 12,0 ДС удельный расход электроэнергии составляет 222 кВт·ч/т, а для 13,0 ДС – 234 кВт·ч/т. С ростом степени помола на рафинаторе до 18,5 ДС расход электроэнергии будет минимальным – 275 кВт·ч/т. При дальнейшем росте степени помола удельный расход электроэнергии начинает увеличиваться. Так, при 20,0 ДС расход электроэнергии составит 290 кВт·ч/т, а при 21,0 ДС – 320 кВт·ч/т [2].

Как видно из рис. 2, а, где представлены функции откликов, построенные по уравнению (7), описывающему влияние параметров рафинера на удельный расход электроэнергии, при уменьшении зазора между размалывающими дисками удельный расход электроэнергии повышается. Чем выше степень износа размалывающих сегментов, тем выше, при том же зазоре между ними, расход электроэнергии. Например, при минимальном износе сегментов $L/h = 1,15$ и установлении зазора между дисками $z = 0,3$ мм удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на операцию размола, составляет

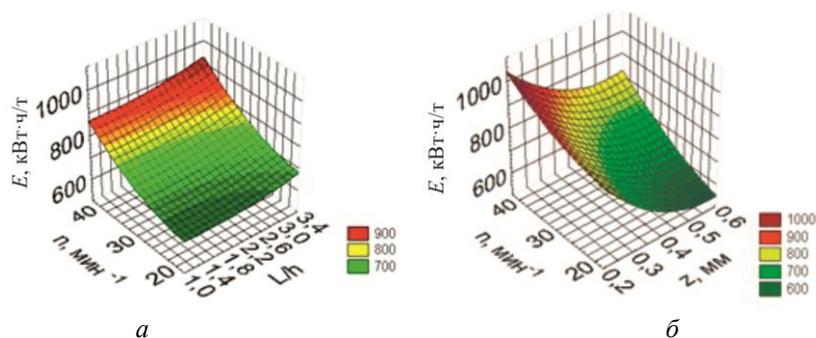


Рис. 2. Удельный расход электроэнергии рафинера при различных частоте вращения выносного шнека, износе размалывающих сегментов и зазоре между ними

720 кВт·ч, при том же значении зазора, но при $L/h = 3,29$ удельный расход электроэнергии увеличивается до 800 кВт·ч.

На рис. 2, б представлена графическая зависимость, отражающая взаимное влияние частоты вращения выносного шнека и степени износа размалывающих сегментов при фиксировании зазора между дисками на среднем уровне, т. е. $z = 0,4$ мм.

При минимальном износе сегментов ($L/h = 1,15$) и увеличении частоты вращения шнека от 20 до 40 мин^{-1} удельный расход электроэнергии изменяется в пределах 680...870 кВт·ч, при максимальном износе сегментов ($L/h = 3,29$) и в том же диапазоне изменения частоты вращения выносного шнека удельный расход электроэнергии повышается от 730 до 980 кВт·ч.

Как видно из рис. 2, при фиксировании степени износа на среднем уровне ($L/h = 2,22$), уменьшении зазора между размалывающими дисками и увеличении частоты вращения выносного шнека удельный расход электроэнергии увеличивается. Скорость вращения нижнего шнека, как и на дефибраторе, оказывает на расход электроэнергии большее влияние, чем зазор. Так, для $z = 0,55$ мм и $n = 20,0$ мин^{-1} расход электроэнергии составит 585 кВт·ч, а для $z = 0,55$ мм и $n = 40,0$ мин^{-1} – $E = 850$ кВт·ч; для $z = 0,25$ мм и при $n = 20,0$ мин^{-1} – $E = 800$ кВт·ч, а для $z = 0,25$ мм и $n = 40,0$ мин^{-1} – $E = 980$ кВт·ч.

На основании теоретических выкладок и реализации серии экспериментов в производстве ДВП мокрым и сухим способами, а также по результатам статистической обработки результатов найдены ограничения для состава исходного древесного сырья, режимные параметры размалывающих машин, качественные характеристики древесной массы и готовых плит.

Исследования показали, что на удельный расход энергии при приготовлении древесноволокнистой массы существенное влияние оказывают технологические и конструктивные параметры пропарочной камеры и размольной установки, исходное состояние и качество древесного сырья, его породный состав, давление и температура процесса, конструкция и материал ножевой

гарнитуры и др. [3]. Установлено, что увеличение содержания доли лиственных пород в сырье приводит к снижению нагрузки на главный электродвигатель. Нагрузка возрастает также с увеличением продолжительности работы размольных дисков, при этом снижается производительность размольных машин, ухудшается качество получаемого волокна [2].

Таким образом, при улучшении отдельных параметров работы размалывающих установок и достижении оптимальных условий их работы удельный расход электроэнергии имеет тенденцию к существенному снижению.

Для использования представленных выше моделей на практике в различных производственных условиях необходимо выявить те условия процесса размола и характеристики размалывающих машин, которые наиболее существенны для поддержания оптимального режима работы оборудования.

Вывод

На основе представленных регрессионных и графических зависимостей, изменяя технологические, конструктивные параметры размалывающих машин, можно подобрать такие параметры процесса размола, при которых возможно снижение затрат удельного расхода электроэнергии для мокрого способа производства плит в среднем на 25...40 кВт·ч/т древесного волокна, для сухого – на 59...70 кВт·ч/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пижурин А.А., Пижурин А.А.* Моделирование и оптимизация процессов деревообработки: учеб. М.: МГУЛ, 2004. 375 с.
2. *Чистова Н.Г., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д.* Исследование возможности применения вторичного волокна в производстве ДВП мокрым способом: моногр. Новосибирск: СО РАН, 2009. 136 с.
3. *Чистова Н.Г.* Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дис. ... д-ра. техн. наук. Красноярск, 2010. 415 с.
4. *Чистова Н.Г.* Энергозатраты размольного участка в производстве ДВП // Лесн. журн. 2010. № 1. С 125–129. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 18.07.11

Experimental and Theoretical Modeling of Power Consumption in Fiberboard Production

N.G. Chistova, Doctor of Engineering, Professor

Lesosibirsk Branch of Siberian State Technological University, Pobedy, 29, 662546, Lesosibirsk, Krasnoyarsk Krai, Russia
E-mail: chistova_n_g@mail.ru

To reduce power consumption of grinding machines and determine the optimal operating mode in fiberboard production is an issue of great importance. The paper aimed to study specific energy consumption to achieve the required degree of grinding of wood fiber semi-products at given design and process parameters of grinding mills.

The studies were conducted on industrial units of the fiberboard plant at the timber industry complex in Lesosibirsk.

The experimental research results were processed using the methods developed for mathematical models in order to describe the object of research (specific energy consumption) and find optimal operating conditions for the system under study.

We obtained a statistical-mathematical description of the relationship between the grinding degree factors, technological and structural parameters of grinding mills and the specific energy consumption for grinding. We found that the degree of fiber grinding, quality characteristics of boards and power consumption for grinding depend on the same factors and correlate with each other.

Based on the data obtained, one can choose the grinding parameters ensuring the best physical and mechanical properties of the board while keeping power consumption for grinding at the lowest possible level both for the wet and dry methods of fiberboard production.

Keywords: power, optimization, criteria, grinding degree, wood fiber mass, refiner, defibrator.

REFERENCES

1. Pizhurin A.A. *Modelirovanie i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and Optimization of Woodworking]. Moscow, 2004. 375 p.
 2. Chistova N.G., Petrusheva N.A., Alashkevich Yu.D. *Issledovanie vozmozhnosti primeneniya vtorichnogo volokna v proizvodstve DVP mokrym sposobom* [Study of the Possible Use of Recycled Fiber in Wet Method Fiberboard Production]. Novosibirsk, 2009. 136 p.
 3. Chistova N.G. *Pererabotka drevesnykh otkhodov v tekhnologicheskom protsesse polucheniya drevesnovolknistykh plit: dis. ... dokt. tekhn. nauk* [Recycling of Waste Wood in Fiberboard Production: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2010. 415 p.
 4. Chistova N.G. *Energozatraty razmol'nogo uchastka v proizvodstve DVP* [Power Consumption of Grinding Section in Fiber Board Production]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 1, pp. 125–129.
-

УДК 676.017.22:531.71

ВЛИЯНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ДЛИНЫ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН НА КАЧЕСТВО БУМАГОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ ФИЛЬТРОВАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© *Н.В. Сысоева, канд. техн. наук, доц.*

В.В. Коваленко, ассист.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: n.sisoeva@narfu.ru

Изучено влияние средней длины стеклянных волокон на изменение характеристик качества и структуры бумагоподобных материалов фильтровального назначения. Основная цель работы – определение критического значения длины стеклянных волокон, при котором происходит спад фильтрующих и прочностных характеристик качества бумагоподобных материалов. В качестве объектов исследования были выбраны нано- и микротонкие стеклянные волокна с номинальным диаметром 0,10 и 0,25 мкм соответственно, из которых изготавливали лабораторные образцы фильтрующего материала плотностью 100 г/м². Оценку фундаментальных свойств стеклянных волокон осуществляли по общепринятым методикам, соответствующим международным стандартам. Качество структуры получаемых образцов контролировали с помощью современных методов и средств измерения, например модуля формования PTA-Line. Результаты данного исследования представлены в виде данных о фундаментальных свойствах стеклянных волокон и их влиянии на характеристики качества бумагоподобных материалов. Также были проанализированы выявленные в ходе исследований отличия в принципах формирования структуры листа при использовании нано- и микротонких волокон. Установлен механизм разрушения бумагоподобных материалов на основе стеклянных волокон, свидетельствующий о выдергивании волокон из структуры, а не их разрушение при приложении растягивающих нагрузок. Определено критическое значение длины, составляющее 1,2 мм как для микро-, так и для нано-тонких стеклянных волокон, после которого наблюдается спад фильтрующих и прочностных характеристик материалов.

Ключевые слова: бумагоподобные материалы фильтровального назначения, стеклянное волокно, прочность стеклянных волокон, критическая длина.

Важность критической длины волокон, используемых в производстве бумаги разного назначения, установлена еще С.Н. Ивановым [1]. Позже Дж. Кларком [3] эта характеристика была категорирована как одно из фундаментальных свойств бумаги. До настоящего времени системным изучением критической длины стеклянных волокон не занимались в виду особенностей данного волокнистого полуфабриката. Кроме того, развитие техники и технологии в последние годы привело к появлению на рынке новых видов стеклянных волокон, отличающихся меньшим диаметром при большей номинальной длине. Все это актуализирует необходимость определения критической длины

стеклянных волокон, используемых в качестве волокнистых полуфабрикатов для получения фильтровальных видов бумаги.

Принимая во внимание, что критическая длина – это интегрированная характеристика фундаментальных свойств, учитывающая собственную прочность волокон в материале, их ширину (в случае со стеклянными волокнами – диаметр), адгезионную способность, плотность и др. [2], для ее расчета были проведены комплексные исследования, направленные на изучение фундаментальных свойств стеклянных волокон. Дополнительно были установлены закономерности влияния фундаментальных свойств волокна на потребительские свойства бумагоподобных стекловолокнистых материалов фильтровального назначения. С этой целью были изготовлены серии лабораторных отливок с заранее смоделированным значением средней длины стеклянных волокон. В качестве объектов исследования использованы нано- (НТВ-0,1) и микротонкие (МТВ-0,25 и МТВ-0,4*) стеклянные волокна.

Фундаментальные свойства стеклянных волокон оценивали по общепринятым стандартным методикам. Дополнительно контролировали качество структуры получаемых образцов с помощью современных методов и средств измерения, например анализатора формования РТА-Line.

В связи с тем, что образцы материала из стеклянных волокон имеют крайне низкую прочность, для снижения вероятности ошибки определения в областях значений, близких к порогу чувствительности испытательных приборов, все серии образцов изготовлены с добавлением связующего. Расход связующего поддерживали постоянным. Полученные результаты представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Изменение характеристик структуры бумагоподобного материала в зависимости от регулирования средней длины стеклянных волокон разных марок

Средняя длина волокна, мм	Индекс формования	Пористость, мл/мин	Шероховатость, мл/мин	Капиллярная впитываемость, мм	Влагоемкость, %
НТВ-0,1					
1,6	266,1	1700	4400	151	122
1,4	278,6	1500	4500	149	122
1,2	250,1	1400	4100	146	125
1,1	214,1	1400	4900	145	124
1,0	191,3	1200	4800	137	116
МТВ-0,25					
2,2	201,4	2800	3300	163	120
1,8	200,7	2800	3400	165	118
1,5	223,1	2300	3000	165	120
1,2	213,6	2200	3100	161	122
0,9	175,6	2300	2400	151	123

* Данные для этой марки волокна не представлены, так как все зависимости аналогичны полученным для марки МТВ-0,25 – наиболее распространенной среди производимых фильтровальных бумаг.

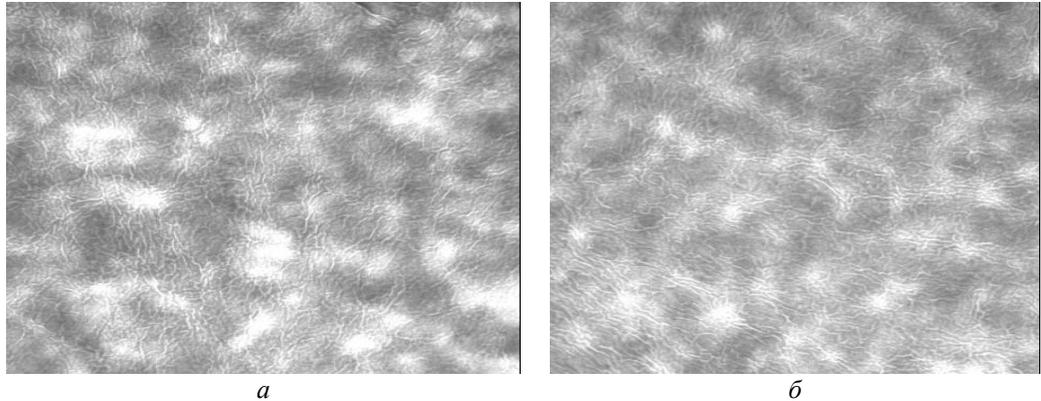


Рис. 1. Фотографии на просвет образцов бумагоподобного материала, изготовленных из нано- (*a*) и микротонких (*б*) стеклянных волокон (средняя длина 1,2 мм)

Анализ качества структуры материала показал закономерное снижение пористости и улучшение индекса формования при снижении средней длины как нано-, так и микротонких стеклянных волокон в исследуемом диапазоне значений. В случае с нанотонкими стеклянными волокнами отмечены более высокие значения индекса формования по сравнению с микротонкими волокнами (чем ближе значение к 100 ед., тем равномернее структура материала), что обусловлено их повышенной склонностью к флокуляции. Пористость, наоборот, выше у образцов, изготовленных из микротонких волокон, что также закономерно и обусловлено получением более грубой капиллярно-пористой структуры за счет больших геометрических размеров и грубости исходных волокон.

Большую флокуляцию нанотонких волокон наглядно демонстрирует рис. 1, *a*, где наблюдается сильная «облачность», вызванная вариацией флокул по размерам. Равномерность просвета, оцениваемая индексом формования, лучше у образцов, полученных из микротонких стеклянных волокон (рис. 1, *б*).

Отличия в принципах формирования структуры листа при использовании нано- и микротонких волокон прослеживаются и в значениях шероховатости (табл. 1). В случае нанотонких волокон тренд имеет минимум. Повышение значений шероховатости при снижении средней длины волокон в структуре может происходить вследствие ориентации коротких волокон в z -направлении листа.

Для получения более полной картины представлены лепестковые гistogramмы распределения по размеру флокул для всех исследуемых образцов (рис. 2). Отметим, что флокулы размером 16 мм преобладают в образцах из нанотонких волокон с большой средней длиной, что подтверждает ранее высказанное предположение о большей склонности к флокуляции. В случае с микротонкими волокнами большей длины распределение по размерам флокул более центрировано.

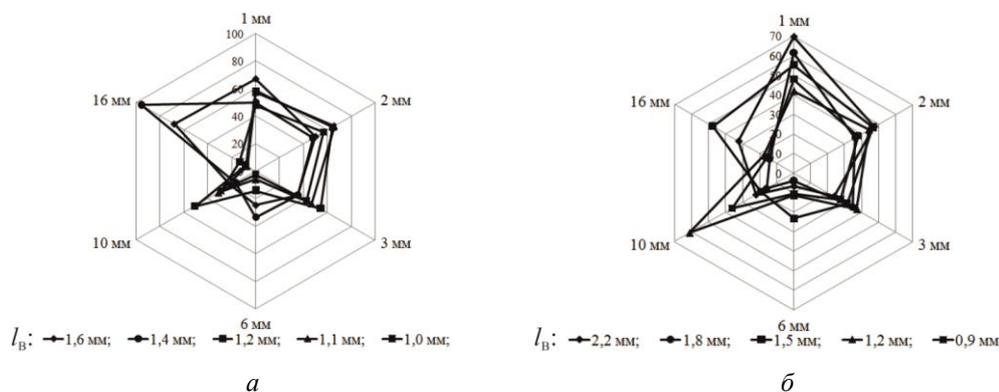


Рис. 2. Влияние средней длины нано- (а) и микротонких (б) стеклянных волокон на распределение флокул по размерам в структуре образцов

Форма распределения флокул по размерам изменяется при снижении средней длины волокна в суспензии ниже 1,2 мм как для нано-, так и для микротонких волокон. Вероятно, в этой области находится пороговое значение длины стеклянных волокон.

Критическую длину стеклянных волокон рассчитывали по результатам определения фундаментальных свойств, представленных в табл. 2, дополнительно оценивали прочность материала при растяжении.

Таблица 2

Изменение механических свойств бумагоподобных материалов в зависимости от регулирования средней длины стеклянных волокон разных марок

Средняя длина волокна, мм	Толщина образца, мкм	Деформация, %	Межволоконные силы связи, МПа	Напряжение, МПа		Критическая длина волокна, мм
				при нулевом расстоянии	при растяжении	
НТВ-0,1						
1,6	685	1,83	0,007	0,14	0,53	3,1
1,4	593	1,84	0,008	0,17	0,66	3,4
1,2	580	1,56	0,009	0,18	0,64	3,3
1,1	560	1,54	0,010	0,18	0,62	3,2
1,0	555	1,49	0,010	0,16	0,85	2,7
МТВ-0,25						
2,2	608	1,58	0,009	0,23	0,61	4,0
1,8	601	1,42	0,007	0,22	0,68	4,2
1,5	554	1,44	0,007	0,23	0,69	5,1
1,2	538	1,40	0,003	0,25	0,76	14,5
0,9	532	1,39	0,002	0,32	0,84	30,3

Анализ результатов определения прочности при растяжении показал значительные отличия в поведении образцов из стеклянных волокон. Так, разрушающее напряжение при растяжении, вопреки общепринятым представлениям для материалов из растительных волокон, растет по мере снижения длины волокон в исследуемом диапазоне значений.

Известно, что стеклянные волокна не способны к фибриллированию и повышению эластичности в процессе размола [4, 5], т.е. сохранение длины стеклянных волокон не обуславливает повышения межволоконного связеобразования. Данные табл. 2 подтверждают вышесказанное. Необходимо отметить, что значения межволоконных сил связи для исследуемых марок стеклянных волокон крайне низкие, даже при использовании связующего в композиции материала.

В ходе экспериментов установлено, что собственная прочность стеклянных волокон сопоставима с прочностью образцов и не зависит от средней длины волокон в образце.

Можно предположить, что повышение прочности при растяжении, по мере снижения длины волокна, происходит за счет увеличения сил трения в результате уплотнения структуры листа, о чем свидетельствует снижение толщины и индекса формования исследуемых образцов. Подобная тенденция справедлива как для нано-, так и для микротонких волокон.

Расчет критической длины стеклянных волокон позволил установить, что разрушение стекловолоконистых бумагоподобных материалов происходит преимущественно за счет выдергивания стеклянных волокон из структуры листа. Из теории прочности композитов известно, что если длина волокна меньше своего критического значения, то в зоне разрушения материала будет наблюдаться выдергивание отдельного волокна, а не его разрушение. Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о многократно завышенных значениях критической длины по сравнению со средней длиной исследуемых марок стеклянных волокон.

Определение фильтрующих свойств бумагоподобных материалов показало отсутствие значимой корреляции этих показателей со средней длиной волокон в исследуемом диапазоне значений.

Необходимо отметить, что, несмотря на слабую связь фундаментальных свойств стеклянных волокон с прочностью материала, в исследуемом диапазоне значений (см. табл. 1, 2) при дальнейшем снижении средней длины волокна происходит резкое снижение всех потребительских свойств материала, образцы приобретают повышенную пылимость и «рассыпаются» в руках вследствие перехода значительной части стеклянных волокон в «мельштоф», не способный образовывать волоконистый каркас структуры.

Таким образом, в ходе проведенных исследований и расчета критической длины волокон установлен механизм разрушения бумагоподобных материалов фильтровального назначения из нано- и микротонких стеклянных волокон. Подтвержден низкий вклад межволоконных сил связи в общую проч-

ность материала из стеклянных волокон. Установлены значения средней длины стеклянных волокон (1,2 мм для всех исследованных марок) для получения материалов с удовлетворительными прочностью и характеристиками структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов С.Н.* Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 695 с.
2. *Карлссон Х.* Гид по волокну. Анализ волокна и его применение в ЦБП: справочное руководство: пер. с англ. А.М. Кряжева. Kista Snabbtryck, Sweden, 2008. 118 с.
3. *Кларк Дж.* Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний): пер. с англ. А.В. Оболенской и Г.А. Пазухиной. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.
4. Фракционный состав по диаметру штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги специального назначения / В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский // Лесн. журн. 2011. № 5. С. 101–105. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Фракционный состав по длине штапельных стеклянных волокон, используемых в производстве бумаги. Методы определения / В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 101–106. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 15.07.13

The Effect of Glass Fiber Critical Length on the Quality of Paper-Like Filter Materials

N.V. Sysoeva, Candidate of Engineering, Associate Professor
V.V. Kovalenko, Teaching Assistant

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia.
E-mail: n.sisoeva@narfu.ru

The influence of glass fiber critical length on the quality of paper-like filter was studied. The research aimed to determine the critical length after which we can see a decline in filtering and strength properties of paper-like material. Our objects of research were nano- and microthin glass fibers 0.1 and 0.25 μm in diameter respectively. These fibers were used to produce laboratory samples of filter material with the density of 100 g/m^2 . The fundamental properties of glass fibers were estimated by standard methods according to ISO. The structure quality of the samples obtained was controlled by up-to-date methods and instrumentation, such as PTA-Line formation module. The results of the research provide data on fundamental properties of glass fibers and their impact on the quality characteristics of paper-like materials. In addition, we analyzed differences in formation of sheet structure using nano- and microthin fibers. The fracture mechanism of paper-like filter materials based on glass fibers was determined. This mechanism indicates that when subjected to tensile stress, the fibers are pulled out of the structure but not destroyed. The critical length

for micro- and nanothin glass fibers was found to be 1.2 mm. Higher values cause a decline in filtering and strength properties of paper-like material.

Keywords: paper-like filter materials, glass fiber, glass fiber strength, critical length.

REFERENCES

- 1.Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow,1970. 695 p.
 - 2.Karlsson H. *Fibre Guide. Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry* (Russ. ed.: Karlsson Kh. *Gid po voloknu. Analiz volokna i ego primeneniye v TsBP. Spravochnoe rukovodstvo*. Kista Snabbtryck, Sweden. 2008. 118 p.).
 - 3.Clark D. *Pulp Technology and Treatment for Paper*. 1978 (Russ. ed.: Klark Dzh. *Tekhnologiya tsellyulozy (nauka o tsellyuloznoy masse i bumage, podgotovka massy, pererabotka ee na bumagu, metody ispytaniy)*). Moscow, 1983. 456 p.).
 - 4.Kovalenko V.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Fraktsionnyy sostav po diametru shtapel'nykh steklyannykh volokon, ispol'zuemykh v proizvodstve bumagi spetsial'nogo naznacheniya [Fractional Composition by Diameter of Staple Glass Fibers Which Are Used for Making Special Types of Paper]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 5, pp. 101–105.
 - 5.Kovalenko V.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Fraktsionnyy sostav po dline shtapel'nykh steklyannykh volokon, ispol'zuemykh v proizvodstve bumagi. Metody opredeleniya [Fractional Composition Along the Length of Staple Glass Fibers Which Are Used in Paper-Making Production. Measuring Methods]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 6, pp. 101–106.
-

УДК 676.017

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И КОГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЛОКОН КАК ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© *А.И. Дернов, асп.*

Е.В. Дьякова, канд. техн. наук, доц.

А.В. Гурьев, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
Тел.: +7(8182)65-00-92

Н.В. Красикова

Архангельский ЦБК, ул. Мельникова, 1, г. Новодвинск, Архангельская область,
Россия, 164900
Тел.: +79815515037

В настоящее время основными инструментами контроля за процессом получения целлюлозы являются измерение числа Каппа и анализ вязкости образцов целлюлозы различными методами.

Следует отметить, что методы оценки структурно-морфологических свойств волокон как на отдельных стадиях процесса, так и в целом используются редко. Однозначных взаимосвязей между геометрическими параметрами индивидуальных волокон и показателями готовой продукции до настоящего времени не разработано.

В связи с развитием еще одного направления оценки свойств целлюлозных волокон, основанного на измерении характеристик индивидуальных волокон в структуре материала, появляется возможность достаточно оперативно контролировать параметры качества полуфабрикатов и их реакции на технологические воздействия.

Такие базовые характеристики волокон, как их прочность непосредственно в структуре материала, геометрический размер и степень межволоконных взаимодействий, могут быть определены с использованием приборов Pulmac Zero-Span.

Авторами реализовано комплексное исследование с целью установить подобные взаимосвязи в реальном технологическом процессе получения лиственной беленой целлюлозы. Для этого изучены образцы волокон в нескольких точках технологического потока, включая варку, промывку, сортирование, все ступени отбели и завершения получением товарного полуфабриката.

В корреляционный анализ были также вовлечены результаты измерений структурно-морфологических параметров волокон, полученные независимым методом анализа с помощью установки Fiber Tester.

Статистически достоверно установлены парные линейные взаимосвязи между числом Каппа и параметрами волокна в структуре образцов.

Обнаружены высокие значения коэффициентов парной корреляции между параметрами волокна, измеренными с помощью установок Pulmac Zero-Span и Fiber Tester. В ходе корреляционного анализа доказано, что уровень собственной прочности индивидуальных волокон в структуре образцов лиственной целлюлозы формируется

за счет средних длины и ширины волокна, возрастает при выпрямлении волокон и, напротив, снижается при увеличении числа изломов и доли мелкой фракции в пробе, т.е. с повышением степени поврежденности.

Следовательно, в первом приближении решена задача контроля за изменением и формированием свойств полуфабриката при его прохождении по технологической цепочке.

Ключевые слова: лиственная беленая сульфатная целлюлоза, волокно, прочность, число Каппа, структурно-морфологические свойства, физико-механические характеристики.

На протяжении всей истории развития способов получения целлюлозы, прежде всего непрерывного сульфатного способа, разрабатывалась система оценки свойств полуфабриката на отдельных стадиях технологического процесса и готовой товарной целлюлозы, а также методология установления взаимосвязей между ними.

В настоящее время основными инструментами контроля за процессом являются измерение числа Каппа целлюлозы и анализ вязкости образцов целлюлозы различными методами. В зависимости от целевого использования целлюлозного полуфабриката в беленом или небеленом виде его свойства оцениваются обычно комплексом нескольких физико-механических характеристик (сопротивления разрыву, раздиранию, продавливанию, излому и др.). При этом методы оценки структурно-морфологических свойств волокон как в целом, так и на отдельных стадиях процесса используются редко. Однозначных взаимосвязей между геометрическими параметрами индивидуальных волокон и показателями готовой продукции до настоящего времени не разработано.

В связи с развитием еще одного направления оценки свойств целлюлозных волокон, основанного на измерении характеристик индивидуальных волокон в структуре материала, появляется возможность достаточно оперативно контролировать параметры качества полуфабрикатов и их реакции на технологические воздействия.

Такие базовые характеристики волокон, как их прочность непосредственно в структуре материала, геометрический размер и степень межволоконных взаимодействий, могут быть определены с использованием метода, реализованного в конструкции приборов Pulmac Zero-Span. Определение характеристик волокон производится по результатам испытаний воздушно-сухих, влажных или повторно увлажненных образцов при изменении расстояния между зажимами прибора от 0 до 0,6 мм [4, 5].

Указанные базовые характеристики волокон выражаются в виде трех расчетных параметров:

FS_f – собственная прочность волокон в структуре (определяется в результате испытания влажных образцов при нулевом расстоянии между зажимами);

L_f – косвенно оценивает среднюю длину волокон в структуре и представляет собой отношение прочности влажного образца, измеренной при расстоянии между зажимами 0,4 мм, к прочности влажного образца при нулевом зазоре;

B_f – мера межволоконных взаимодействий, рассчитываемая как отношение прочности сухих образцов к прочности влажных образцов (в обоих случаях при расстоянии между зажимами 0,4 мм).

Несмотря на активное внедрение метода, сведения о наличии и достоверности взаимосвязей собственной прочности волокна, средней длины и степени межволоконных взаимодействий с химическим составом полуфабриката и его физико-механическими свойствами противоречивы [1–3].

Авторами реализовано комплексное исследование с целью установить подобные взаимосвязи в реальном технологическом процессе получения лиственной беленой целлюлозы. Для этого были изучены образцы волокон в нескольких точках технологического потока, включая варку, промывку, сортирование, все ступени отбелки и завершая получением товарного полуфабриката.

Комплексный анализ свойств лиственной беленой целлюлозы проведен на базе трех полномасштабных отборов проб, результаты испытаний которых рассматривались как по отдельности, так и в усредненной форме.

Для количественного установления достоверных взаимосвязей между традиционным режимным параметром свойств – числом Каппа полуфабриката, и прочностью волокна в структуре образцов целлюлозы FS_f (в совокупности с параметрами L_f и B_f) использованы корреляционный и регрессионный анализ.

В корреляционный анализ были также вовлечены результаты измерений структурно-морфологических параметров волокон, полученные независимым методом (с помощью установки Fiber Tester), и физико-механических характеристик лабораторных образцов целлюлозы массой $1 \text{ м}^2 75 \text{ г}$. Основные результаты парного корреляционного анализа для усредненной выборки представлены в таблице, где статистически достоверные коэффициенты парной корреляции выделены полужирным шрифтом, допустимое значение коэффициента $r_{0,95} = 0,63$.

Статистически достоверно установлены парные линейные взаимосвязи между числом Каппа и параметрами волокна в структуре образцов (см. рисунок *a–в*). Постепенное снижение содержания остаточного лигнина в клеточной стенке волокон беленой лиственной целлюлозы и соответствующее снижение числа Каппа сопровождается прямо пропорциональной потерей собственной прочности индивидуальных волокон в структуре образцов и их укорочением. Коэффициенты парной линейной корреляции близки к единице.

Зависимость между числом Каппа и степенью межволоконных взаимодействий B_f имеет обратный характер ($r = -0,945$), что свидетельствует о повышении сомкнутости структуры лабораторных образцов по мере делигнификации клеточной стенки в процессах варки и отбелки целлюлозы.

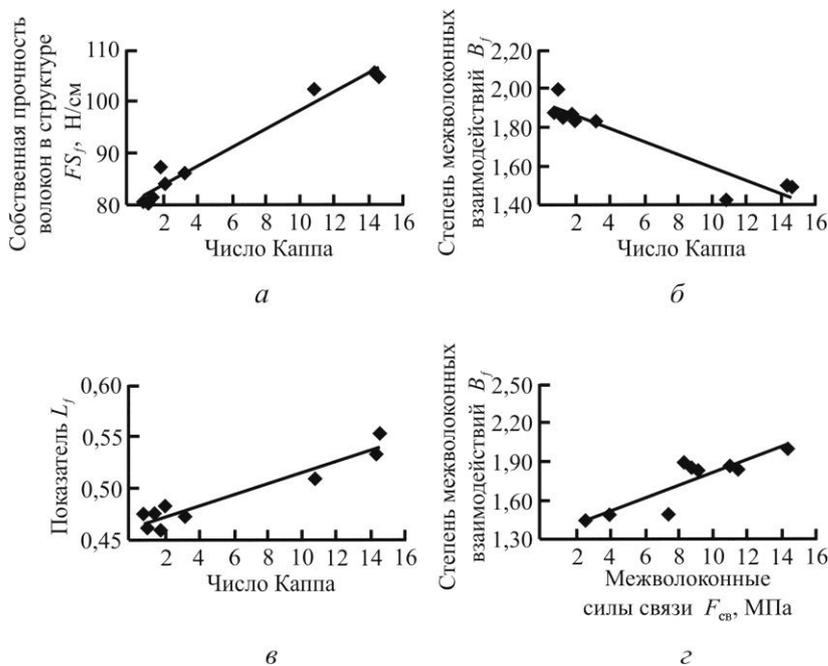
**Коэффициенты парной линейной корреляции между характеристиками
лиственной сульфатной беленой целлюлозы по усредненной выборке**

Характеристика	FS_f Н/см	L_f	B_f	Число Каппа
Число Каппа	0,9839	0,9531	-0,9448	–
Параметры волокон в структуре образцов:				
собственная прочность волокон, Н/см	–	0,9049	-0,9649	0,9390
параметр средней длины волокон	0,9049	–	-0,8957	0,9531
параметр межволоконных взаимодействий	-0,9649	-0,8957	–	-0,9448
Структурно-морфологические характеристики волокон:				
средняя длина, мм	0,8835	0,7218	-0,7472	0,8631
средняя ширина, мкм	0,8034	0,6838	-0,7926	0,7897
средний фактор формы, %	0,8552	0,8928	-0,7326	0,8977
грубость, мкг	-0,1739	0,0060	0,1140	-0,1159
угол излома, град	-0,8589	-0,9163	0,7561	-0,9011
число изломов на волокно, шт.	-0,8470	-0,8817	0,7175	0,8913
средняя длина сегмента, мм	0,8768	0,9133	-0,7623	0,9213
доля мелочи, %	-0,8857	-0,9043	0,7752	-0,9326
Физико-механические характеристики отливок целлюлозы:				
разрывная длина, м	0,4620	0,4474	-0,3006	0,4515
сопротивление раздиранию, мН	-0,3417	-0,1671	0,3601	-0,3220
жесткость при растяжении, кН/м	0,9485	0,8503	-0,8511	0,9300
деформация разрушения, %	-0,9601	-0,8827	0,9259	-0,9538
работа разрушения, МДж	-0,8868	-0,8461	0,8895	-0,8977
трещиностойкость, Дж/м	-0,9220	-0,7737	0,8651	-0,8943
силы связи по Иванову, МПа	-0,7781	-0,6913	0,8808	-0,7469

Указанные явления происходят без существенного механического воздействия на волокно, поскольку в экспериментах не был задействован лабораторный размол. Выявленные тесные взаимосвязи проиллюстрированы на рисунке и формализованы в виде линейных уравнений регрессии.

В процессе технологического воздействия на волокна, при их прохождении по потоку, неизбежно изменяется не только химический состав, но и геометрические размеры, форма, поврежденность клеточной стенки. Параметры волокна в структуре лабораторных образцов, в свою очередь, прямо или косвенно должны влиять на изменение структурно-морфологических характеристик волокон.

Обнаружены высокие значения коэффициентов парной корреляции между параметрами волокна, измеренными с помощью установок Pulmac Zero-Span и Fiber Tester. На основании данных корреляционного анализа установлено, что уровень собственной прочности индивидуальных волокон в



Взаимосвязь параметров волокон лиственной целлюлозы, измеренных альтернативными методами: $a - y = 1,8087x + 80,274$; $R^2 = 0,9681$; $б - y = -0,033x + 1,928$; $R^2 = 0,893$; $в - y = 0,005x + 0,462$; $R^2 = 0,908$; $г - y = 2,316x - 0,544$; $R^2 = 0,776$

структуре образцов лиственной целлюлозы формируется за счет средних длины и ширины волокна, возрастает при выпрямлении волокон и снижается при увеличении числа изломов и доли мелкой фракции в пробе, т.е. с повышением степени поврежденности.

Параметр L_f , косвенно характеризующий длину волокон в структуре, положительно коррелирует с геометрическими параметрами волокна и соответственно снижается при увеличении доли мелочи и числа изломов на волокне.

Параметр межволоконных взаимодействий B_f естественным образом снижается в образцах, содержащих крупные и негибкие волокна, однако усиление факторов, связанных с поврежденностью волокна, на него влияет положительно. Кроме того, этот параметр имеет достаточно высокую парную линейную корреляцию с характеристикой межволоконных сил связи, определенных методом С.Н. Иванова – альтернативным способом оценки межволоконных когезионных взаимодействий (см. рисунок, г).

Таким образом, комплексный подход к исследованию изменений свойств волокон лиственной беленой целлюлозы свидетельствует о возможности использования характеристик, измеряемых с помощью установки

Pulmac Zero-Span, в качестве универсальных параметров оценки и потенциального прогнозирования степени делигнификации и структурно-морфологических характеристик волокон полуфабрикатов. Следовательно, в первом приближении нами решена задача контроля за изменением и формированием свойств полуфабриката при его прохождении по технологической цепочке.

Кроме того, рассмотрение коэффициентов парной корреляции между параметрами индивидуальных волокон в структуре образцов лиственной целлюлозы и их физико-механическими характеристиками позволяет подойти к решению другой важной задачи – потенциальной оценке прочности и деформативности товарного полуфабриката.

На данном этапе исследований значимые коэффициенты парной линейной корреляции установлены лишь для отдельных характеристик, связанных с деформационным поведением лабораторных образцов целлюлозы. Наиболее высоким уровнем парных взаимодействий с параметрами волокон в структуре отличаются жесткость образцов при растяжении, деформация и работа разрушения, а также новая и перспективная характеристика для отдельных видов целлюлозно-бумажной продукции – трещиностойкость.

Отсутствие значимых коэффициентов корреляции со стандартными характеристиками прочности лиственной целлюлозы – разрывной длиной и сопротивлением раздиранию, по-видимому, является следствием более сложного многофакторного влияния параметров структуры индивидуальных волокон и потребует дополнительного изучения.

Таким образом, применительно к технологическому процессу получения лиственной блененной сульфатной целлюлозы как основного товарного полуфабриката для массовых видов бумаги и картона продемонстрирована применимость использования высокотехнологичного, достаточно оперативного и обладающего высоким прогнозным потенциалом метода контроля комплекса свойств волокон целлюлозы. Вместе с тем, очевидна необходимость дальнейшей апробации используемого подхода как с точки зрения расширения накопления массива данных (увеличение количества отборов), так и привлечения его для исследования других технологических процессов и других видов полуфабрикатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cowan W.F.* Testing Pulp Quality – an Alternative to Conventional Laboratory Evaluation // TAPPI Journal. 1994. Vol. 77, N 10. P. 77–81.
2. *Cowan W.F., Balint L.* Zero-Span Tensile Testing for Better Papermaking Quality Control of Pulp // 6-th International Conference on New and Available Technologies. Stockholm, SPCI, 1999.
3. *Fiserova M., Gigac J., Balbercak J.* Relationship between Fibre Characteristics and Tensile Strength of Hardwood and Softwood Kraft Pulps // Cellulose Chem. Technol. 2010. Vol. 44, N 7-8. P. 249–253.

4. T 231 pm-96. Zero-Span Breaking Strength of Pulp (Dry Zero-Span Tensile) // TAPPI Test Methods. TAPPI PRESS, Atlanta, USA, 1996.

5. T 273 pm-95. Zero-Span Breaking Strength of Pulp // TAPPI Test Methods. TAPPI PRESS, Atlanta, USA, 1996.

Поступила 29.08.13

Comprehensive Evaluation of Strength and Cohesiveness of Fibers as Elements of Cellulose Materials Structure

A.I. Dernov, Postgraduate Student

E.V. Dyakova, Candidate of Engineering, Associate Professor

A.V. Guryev, Candidate of Engineering, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
Tel.: +7(8182)65-00-92

N.V. Krasikova

JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”, Melnikova, 1, 164900, Novodvinsk, Russia
Tel.: +79815515037

At present, pulp production is controlled mainly by means of the Kappa number measurement and viscosity analysis of cellulose samples using various methods.

It should be noted that methods for assessing structural and morphological properties of fibers both at individual stages and on the whole are rarely applied, and so far there has not been developed any definite correlations between the geometric parameters of individual fibers and the finished product parameters.

A new trend in assessment of cellulose fiber properties, which is based on measuring the characteristics of individual fibers in the material structure, allows us to exercise a rather prompt control of quality of semi-finished products and their response to technological impact.

Basic fiber characteristics, such as strength directly in the material structure, geometrical dimensions and interfiber interactions, can be determined using Pulmac Zero-Span testers.

The authors carried out a comprehensive study to establish such correlations in the real process of bleached hardwood pulp production. For this purpose, we tested fiber samples at workflow points, including such operations as cooking, washing, sorting, all stages of bleaching and production of a marketable semi-finished product.

The correlation analysis also includes measurement data of structural and morphological parameters of fibers, obtained by an independent analysis method using Fiber Tester.

First of all, statistically significant linear pair correlation was established between the Kappa number on the one hand, and parameters of the fiber structure in the samples on the other.

We found high coefficients of pair correlation between the fiber parameters measured by Pulmac Zero-Span and Fiber Tester. The correlation analysis shows that the strength of individual fibers in the structure of hardwood pulp samples depends on the mean fiber

length and width, increasing with fiber straightening and, conversely, declining with the growing number of sharp bends and fine fractions in the sample, i.e. with a higher degree of damage. Hence, in the first approximation we solved the problem of monitoring the changes in the properties formation of a semi-product during the manufacturing process.

Keywords: bleached hardwood sulphate pulp, fiber, strength, the Kappa number, structural and morphological properties, physical and mechanical characteristics.

REFERENCES

1. Cowan W.F. Testing Pulp Quality – an Alternative to Conventional Laboratory Evaluation. *TAPPI Journal*, vol. 77, no. 10, 1994, pp. 77–81.
 2. Cowan W.F., Balint L. Zero-Span Tensile Testing for Better Papermaking Quality Control of Pulp. *6-th International Conference on New and Available Technologies*. Stockholm, SPCI, 1999.
 3. Fiserova M., Gigac J., Balbercak J. Relationship Between Fibre Characteristics and Tensile Strength of Hardwood and Softwood Kraft Pulps. *Cellulose Chem. Technol.*, 2010, vol. 44, no 7–8, pp. 249–253.
 4. T 231 pm-96 “Zero-Span Breaking Strenght of Pulp (Dry Zero-Span Tensile)”. *TAPPI Test Methods*. TAPPI PRESS, Atlanta, USA, 1996.
 5. T 273 pm-95 “Zero-Span Breaking Strenght of Pulp”. *TAPPI Test Methods*. TAPPI PRESS, Atlanta, USA, 1996.
-

УДК 676.032

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ УСЫХАЮЩЕЙ ЕЛИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИСУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
ВЫСОКОГО ВЫХОДА**

©Ю.В. Севастьянова, канд. техн. наук, доц.

Н.Н. Фетюкова, асп.

И.М. Невзорова, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru

Комплексное исследование свойств волокнистых полуфабрикатов из усыхающей и сухостойной древесины ели позволит более объективно оценить возможность использования фаутной древесины спелых и перестойных ельников Европейского Севера в ЦБП. В настоящее время общий объем пораженной древесины в данном регионе оценивается в 150 млн м³.

В качестве сырья для проведения эксперимента использовали технологическую щепу промышленного изготовления из нормальной, сухостойной и усыхающей ели. Варку образцов целлюлозы проводили в лабораторных условиях, дефибрирование и размол массы после варки – на лабораторном центробежно-размалывающем аппарате. Получение полуфабрикатов и оценка их качественных характеристик проведены по стандартным методикам, определение геометрических размеров волокна – на анализаторе волокна FiberTester, комплекс деформационных и ряд прочностных свойств – по методикам, разработанным в САФУ.

В результате исследования образцов сухостойной, усыхающей и нормальной древесины установлено, что при усыхании значительно изменяется только содержание экстрактивных веществ. Содержание лигнина выше в верхней части нормальной древесины, в комлевой части оно практически не меняется. Содержание легкогидролизуемых полисахаридов в нормальной древесине ели по сравнению с сухостойной и усыхающей на 3 % больше в верхней части ствола, на 4 % – в комлевой части. Максимальное содержание трудногидролизуемых полисахаридов обнаружено в усыхающей древесине, при этом оно увеличивается к комлю ствола.

В ходе исследования установлено, что выход целлюлозы из нормальной древесины ели существенно отличается от выхода целлюлозы из фаутной древесины. Разница между выходами целлюлозы из нормальной и усыхающей древесины составляет примерно 10 % по длине ствола, между выходами из нормальной и сухостойной древесины – 12 %. Образцы целлюлозы незначительно отличаются числом Каппа.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что использование сухостойной и усыхающей древесины ели в производственных условиях для получения бисульфитной целлюлозы экономически менее выгодно из-за существенной разницы в выходе полуфабрикатов.

Ключевые слова: сухостойная древесина ели, бисульфитная целлюлоза высокого выхода, структурно-размерные характеристики волокна, стандартные характеристики прочности целлюлозы высокого выхода.

Одной из приоритетных задач министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области является реализация проекта использования низкокачественной древесины усыхающих ельников и отходов лесопереработки. Имеется ряд работ [1–3, 5], свидетельствующих о том, что усыхающая и сухостойная древесина могут быть использованы для производства целлюлозы. Поэтому переработка сухостойной и усыхающей древесины для получения гофрокартона и его компонентов является одним из рациональных путей ее утилизации.

Цель исследований, проводимых на кафедре технологии целлюлозно-бумажного производства САФУ им. М.В. Ломоносова, – разработать технологию использования сухостойной древесины в ЦБП, комплексно оценить сухостойную древесину ели как сырье для получения сульфатной, бисульфитной целлюлозы.

На первом этапе эксперимента для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

исследование химического состава нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели;

получение бисульфитной целлюлозы из исследуемых образцов древесины;

изучение качественных показателей образцов целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели.

Вначале был проведен подробный химический анализ образцов нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели. Образцы были подготовлены согласно методике, изложенной в учебном пособии А.В. Оболенской [4]. В образцах определяли содержание экстрактивных веществ (ЭВ), лигнина, легко- (ЛГП) и трудногидролизуемых полисахаридов (ТГП). Полученные в ходе эксперимента данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав (%) древесины ели

Часть ствола	Экстрактивные вещества	Лигнин	Легко-гидролизуемые полисахариды	Трудно-гидролизуемые полисахариды
Нормальная древесина				
Верх	1,33	20,81	15,60	44,03
Низ	1,49	21,33	16,58	44,93
Усыхающая древесина				
Верх	1,04	19,73	13,95	42,08
Середина	1,18	20,05	13,16	46,30
Низ	1,07	21,23	13,89	49,75
Сухостойная древесина				
Верх	1,08	19,39	13,72	42,41
Середина	0,93	19,69	13,84	43,47
Низ	1,00	20,99	13,89	45,48

В результате было установлено, что содержание ЭВ в нормальной древесине по всей длине ствола больше примерно на 20 %, чем в усыхающей и сухостойной. Содержание лигнина в нормальной древесине по сравнению с усыхающей и сухостойной на 1,2...1,5 % больше в верхней части ствола, в образцах из комлевой части оно практически одинаково.

Содержание ЛПП в нормальной древесине по сравнению с образцами сухостойной и усыхающей ели примерно на 3 % больше в верхней части ствола, на 4 % – в нижней его части. Максимальное содержание ТПП обнаружено в усыхающей древесине, при этом оно возрастает к комлю ствола.

Анализ изменения химического состава древесины ели в процессе усыхания позволяет сделать вывод о том, что при усыхании в значительной степени изменяется только содержание ЭВ, что свидетельствует о поражении эпителиальной системы древесины.

Элементный состав образцов древесины ели был исследован в условиях ЦКП «Арктика» САФУ имени М.В. Ломоносова, результаты представлены в табл. 2.

Установлено, что содержание углерода в образцах нормальной древесины выше, чем в образцах сухостойной и усыхающей, при этом разница между содержанием углерода в сухостойной и усыхающей древесине не значительная. Содержание водорода в исследуемых образцах древесины находится на одном уровне.

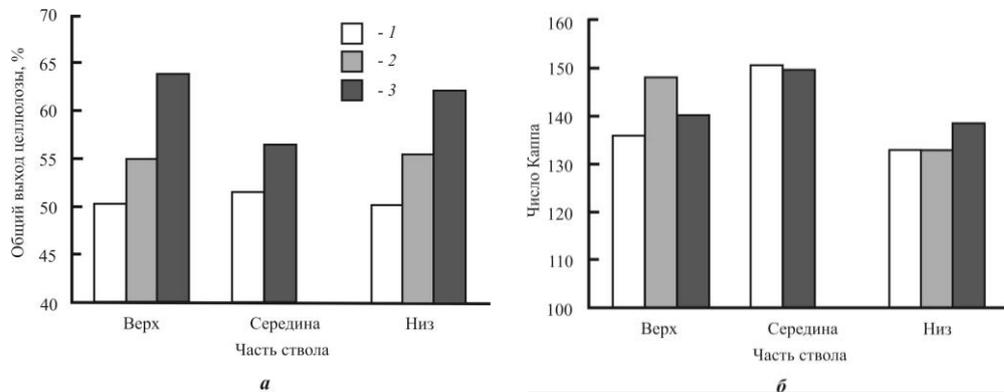
Полученные результаты свидетельствуют о том, что теплотворная способность усыхающей древесины существенно не изменяется, поэтому ее можно успешно использоваться как сырье для производства древесностружечных плит, пеллет, топливных брикетов.

На втором этапе эксперимента были получены образцы бисульфитной целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины. Для устранения влияния факторов варки на выход и свойства получаемой целлюлозы

Таблица 2

Элементный состав и влажность (%) древесины ели

Часть ствола	Углерод	Водород	Влажность
Нормальная древесина			
Верх	53,026±2,121	5,666±0,283	6,92
Низ	53,261±2,130	6,067±0,0303	7,17
Усыхающая древесина			
Верх	52,410±2,096	5,936±0,297	6,71
Середина	52,609±2,104	5,971±0,299	7,36
Низ	51,871±2,075	6,056±0,0303	6,44
Сухостойная древесина			
Верх	51,728±2,069	5,990±0,299	7,59
Середина	52,785±2,111	6,119±0,306	5,73
Низ	52,501±2,100	6,001±0,0300	7,47



Общий выход (а) и число Каппа (б) хвойной бисульфитной целлюлозы: 1 – сухостойная древесина; 2 – усыхающая древесина; 3 – нормальная древесина

был выбран одинаковый для всех образцов щепы режим: температура варки – 160 °С; гидромодуль – 5; расход SO_2 – 12 %; продолжительность варки – 5,0 ч, продолжительность стоянки на конечной температуре – 1,5 ч. В ходе эксперимента были получены образцы бисульфитной целлюлозы высокого выхода с различным числом Каппа. Результаты проведенного эксперимента проиллюстрированы на рисунке.

Выход целлюлозы из нормальной древесины существенно отличается от выхода целлюлозы из усыхающей и сухостойной древесины ели (результаты представлены по трем параллельным варкам). Если разница между выходами из нормальной и усыхающей древесины составляет примерно 10 % по всей длине ствола, то между выходами из здоровой и сухостойной древесины – 12 %. Образцы целлюлозы имеют незначительно отличающиеся друг от друга числа Каппа.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что использование сухостойной и усыхающей древесины ели в производственных условиях для получения бисульфитной целлюлозы экономически менее выгодно из-за существенной разницы в выходе полуфабрикатов, что обусловлено важнейшим влиянием процессов диффузионной пропитки на ход бисульфитной варки.

На стадии изготовления лабораторных образцов для сравнения их характеристик качества после размолла массы до 30 °ШР были определены основные структурно-морфологические характеристики волокон бисульфитной целлюлозы. Результаты представлены в табл. 3.

Необходимо отметить, что по структурно-морфологическим характеристикам полученные образцы бисульфитной целлюлозы отличаются незначительно. Наибольшей длиной волокна обладают образцы целлюлозы, полученной из сухостойной древесины. Ширина волокон для всех образцов была

Таблица 3

**Структурно-морфологические характеристики
волокон бисульфитной целлюлозы из древесины ели разного качества**

Часть ствола	Средняя длина волокна, мм	Средняя ширина волокна, мкм	Фактор формы волокон, %	Грубость волокон, дг
Нормальная древесина				
Верх	1,58	34,95	90,87	102,87
Низ	1,61	34,67	91,03	114,77
Усыхающая древесина				
Верх	1,49	34,30	89,40	105,33
Середина	1,59	35,83	90,47	106,40
Низ	1,65	35,87	88,90	115,23
Сухостойная древесина				
Верх	1,65	34,37	86,43	100,23
Середина	1,69	34,17	88,43	107,20
Низ	1,79	33,07	88,33	111,70

практически одинакова и изменялась несущественно. У бисульфитной целлюлозы из нормальной древесины наименее искажена форма волокон.

Грубость волокон бисульфитной целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины находится практически на одном уровне при существенной разнице в выходах полуфабрикатов. Наибольшей грубостью обладают волокна целлюлозы, полученной из комлевой части ствола дерева, наименьшей – из верхней.

Согласно действующим ТУ на хвойную бисульфитную небеленую целлюлозу, показатели механической прочности определяли в отливках массой 1 м² 125 г из целлюлозы, размолотой до 30 °ШР. Результаты эксперимента представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Показатели механической прочности бисульфитной целлюлозы (без проклейки)
из древесины ели разного качества**

Часть ствола	Разрывная длина, м	Жесткость при растяжении, кН/м	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление сжатию короткого образца, Н	Сопротивление сжатию гофрированного образца бумаги, кН/м	Сопротивление плоскостному сжатию гофрированного слоя бумаги, Н
Нормальная древесина						
Верх	8220	741,5	465	3,442	2,35	239
Низ	8500	742,6	540	3,671	2,86	259
Усыхающая древесина						
Верх	6200	679,8	406	3,192	2,13	247
Середина	7400	688,9	465	3,509	2,43	260
Низ	8300	706,2	520	3,669	2,65	266
Сухостойная древесина						
Верх	6700	671,9	425	3,081	2,05	212
Середина	7600	695,2	491	3,317	2,21	235
Низ	9000	717,1	535	3,648	2,53	263

В ходе эксперимента установлено, что разрывная длина образцов бисульфитной целлюлозы значительно изменяется в зависимости от части ствола дерева. Разрывная длина у целлюлозы, полученной из верхней части ствола нормальной древесины, на 20 % выше по сравнению с целлюлозой из сухостойной древесины и на 25 % по сравнению с целлюлозой из усыхающей древесины. В комлевой части этот показатель на 10 % выше у бисульфитной целлюлозы из сухостойной древесины, чем у образцов из нормальной древесины. Разрывная длина у целлюлозы из срединной части усыхающей и сухостойной древесины примерно одинакова.

Сопротивление продавливанию образцов бисульфитной целлюлозы, полученной из верхней части ствола нормальной древесины, выше на 10 %, чем у целлюлозы из сухостойной древесины и на 15 % по сравнению с усыхающей древесиной. У образцов бисульфитной целлюлозы, полученной из нижней и срединной частей ствола, этот показатель различается незначительно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронин В.В.* Усыхающие ельники Архангельской области, проблемы и пути их решения: сб. ст. Архангельск: Департамент лесного комплекса Архангельской области, Центр защиты леса Архангельской области, 2007.
2. *Кортаев Г.Е., Севастьянова Ю.В., Фетюкова Н.Н.* Исследование структурно-размерных и фундаментальных свойств сульфатной небеленой целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины ели // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 146 – 151. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Матюшкина А.П., Агеева М.И.* Свойства древесины и целлюлозы из сухостоя сосны // Физико-химические исследования древесины и ее комплексное использование. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, Институт леса, 1978. С. 24 – 36.
4. *Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А.* Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие. М.: Экология, 1991. 320 с.
5. *Федоров И.А.* Усыхает 10 % процентов лесов Архангельской области! // ЛесПромИнформ. 2005. №8 (30). С. 42 – 44.

Поступила 20.09.13

On the Possibility of Using Dying Spruce for Production of High Yield Bisulphite Pulp

Yu. V. Sevastyanova, Candidate of Engineering, Associate Professor
N.N. Fetyukova, Postgraduate Student
I.M. Nevzorova, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya
Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru

A comprehensive study of the properties of semi-finished fiber products from dying and dead spruce will allow us to make a more objective assessment of the possible use of

defective wood from mature and overmature spruce forests of the European North in the pulp and paper industry. At present, the volume of damaged wood is estimated at 150 million m³.

As raw materials for the experiment we used industrial chips of dying, dead and normal spruce. Pulp samples were cooked in the laboratory. Grinding and refining of pulp were carried out in the centrifugal grinding machine in the laboratory. Semi-products were obtained and their quality was evaluated by standard methods. Geometrical dimensions of fiber were determined using the FiberTester analyzer. Deformation behavior and a number of strength properties were determined by the techniques developed in NArFU.

The chemical analysis of dying, dead and normal wood samples indicates that dying wood has significant changes only in the content of extractives. Lignin content is higher in the upper part of healthy wood, while in the butt its content is almost unchanged. The content of easily hydrolyzed polysaccharides in normal wood is 3 % higher in the top part of the trunk and 4 % higher in the butt, as compared to dying and dead spruce. The maximum content of hard-to-hydrolyze polysaccharides was found in dying wood, increasing in the direction of the butt.

The pulp yield from normal wood differed significantly from that of defective wood. Whereas the difference between the yields from normal and dying wood is about 10 % along the full length of the trunk, the difference between the yields from normal and dead wood is 12 %. The Kappa number of the pulp samples varies slightly.

From the data obtained it may be concluded that the use of dead and dying spruce wood to produce bisulphite pulp is less cost effective due to the substantial difference in the yield of semi-finished products.

Keywords: dead spruce, high yield bisulphite pulp, structural-dimensional characteristics of fiber, standard strength characteristics of high yield pulp.

REFERENCES

1. Voronin V.V. *Usykhayushchie el'niki Arkhangel'skoy oblasti, problemy i puti ikh resheniya: sb. st.* [Dying Spruce Forests of the Arkhangelsk Region, Problems and Solutions: Collected Papers]. Arkhangelsk, 2007.
2. Korotaev G.E., Sevast'yanova Yu.V., Fetyukova N.N. Issledovanie strukturno-razmernykh i fundamental'nykh svoystv sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy, poluchennoy iz normal'noy, usykhayushchey i sukhostoynoy drevesiny eli [Study of the Structure-Dimensional and Fundamental Properties of Unbleached Sulphate Pulp Obtained from Normal, Dying and Dead Spruce]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 146–151.
3. Matyushkina A.P., Ageeva M.I. Svoystva drevesiny i tsellyulozy iz sukhostoya sosny [Properties of Wood and Pulp from Pine Deadwood]. *Fiziko-khimicheskie issledovaniya drevesiny i ee kompleksnoe ispol'zovanie* [Physico-Chemical Studies of Wood and Its Multipurpose Use]. Petrozavodsk, 1978, pp. 24–36.
4. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Works on Wood and Cellulose Chemistry]. Moscow, 1991. 320 p.
5. Fedorov I.A. Usykhaet 10 % protsentov lesov Arkhangel'skoy oblasti! [10 % of Arkhangelsk Region Forests Are Dying!]. *LesPromInform*, 2005, no. 8 (30), pp. 42–44.

УДК 676.017

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО МАТЕРИАЛА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ
НА АВТОМАТИЧЕСКОМ АНАЛИЗАТОРЕ ВОЛОКНА**

© *Т.Н. Манахова, асп.*

Я.В. Казаков, канд. техн. наук

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail: TatiankaYa17@yandex.ru

Рассмотрен разработанный метод прогнозирования деформационного поведения при растяжении сульфатной хвойной небеленой целлюлозы с использованием феноменологической модели на основе уравнения типичного тела с одним временем релаксации. Параметры модели рассчитаны по многофакторным уравнениям регрессии, связывающим свойства волокна и деформационные свойства целлюлозно-бумажного материала при растяжении образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы производственного изготовления с различным содержанием лигнина (число Каппа 25,9...51,4) и степенью помола 14...40 °ШР.

В качестве входных данных использованы результаты измерений структурно-морфологических характеристик волокна на автоматическом анализаторе L&W FiberTester.

В процессе моделирования по уравнениям регрессии рассчитываются параметры модели деформирования и прогнозные значения плотности, толщины, деформации разрушения и разрушающего напряжения для выбранного образца, а также точки кривой «напряжение–деформация», выполняется математическая обработка модельной кривой и вычисляются характеристики деформативности. Результаты экспортируются в MS Excel для последующего анализа.

Представленный метод прогнозирования характеристик деформативности и прочности при растяжении для сульфатной хвойной небеленой целлюлозы с известными числом Каппа и степенью помола по данным о структурно-морфологических характеристиках волокна, полученных на автоматическом анализаторе L&W FiberTester, позволяет сократить время получения информации о деформационных свойствах целлюлозного материала до 20 мин без изготовления отливок и проведения испытаний.

Ключевые слова: сульфатная хвойная целлюлоза, деформационные характеристики, структурно-морфологические характеристики целлюлозных волокон, феноменологическая модель.

Деформация и прочность целлюлозно-бумажных материалов являются важными потребительскими свойствами, в значительной степени определяющими цену готовой продукции и спрос на нее.

Традиционные испытания технической целлюлозы, как правило, требуют много времени и включают в себя большое количество операций, проводимых вручную. Для определения комплекса свойств традиционным способом требуется как минимум 10 ч, в течение которых необходимо выполнить размол целлюлозы, изготовить и провести кондиционирование лабораторных отливок, нарезать образцы, подвергнуть их испытанию и провести расчеты [6].

Современные компьютерные технологии измерений открывают новые возможности автоматизированного определения характеристик целлюлозных волокон. Используемый в них прямой анализ геометрии волокон базируется на анализе изображения. Преимуществом этого метода является измерение первичных характеристик волокна, которые, по мнению разработчиков, могут объяснить причины отклонения в качестве массы [9]. Современные анализаторы волокна позволяют в автоматическом режиме проводить измерения и получать гистограммы распределения длины l_{cp} , ширины b , кривизны волокон f , числа изломов на волокне n , угла излома u , длины сегмента l_s , доли мелочи m и др. характеристик.

Очевидно, что такая полная характеристика целлюлозной массы имеет высокий прогнозирующий потенциал для определения деформационных и прочностных свойств технической целлюлозы.

Это подтверждают и высокие коэффициенты множественной корреляции деформационных и прочностных свойств со структурно-морфологическими характеристиками, рассчитанные в ходе эксперимента с использованием образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы с различным содержанием лигнина (число Каппа 25,9...51,4) [4, 5], отобранных на ОАО «Соломбальский ЦБК» (табл. 1).

В процессе лабораторных испытаний технической целлюлозы на растяжение определяют комплекс свойств, состоящий из более 25 характеристик деформативности и прочности [1, 2]. Для прогнозирования такого комплекса характеристик традиционным путем необходимо составлять регрессионные

Таблица 1

Коэффициенты множественной корреляции деформационных и прочностных свойств со структурно-морфологическими характеристиками сульфатной хвойной небеленой целлюлозы

Y	$y = f(l_{cp}, b, f, u, n, l_s, m)$
Разрывная длина L	0,827
Разрушающая нагрузка F_p	0,818
Разрушающее напряжение σ_p	0,855
Деформация разрушения ε_p	0,697
Работа разрушения A_p	0,758
Жесткость при растяжении S	0,777
Начальный модуль упругости E_1	0,861
Модуль упругости в области предразрушения E_2	0,764

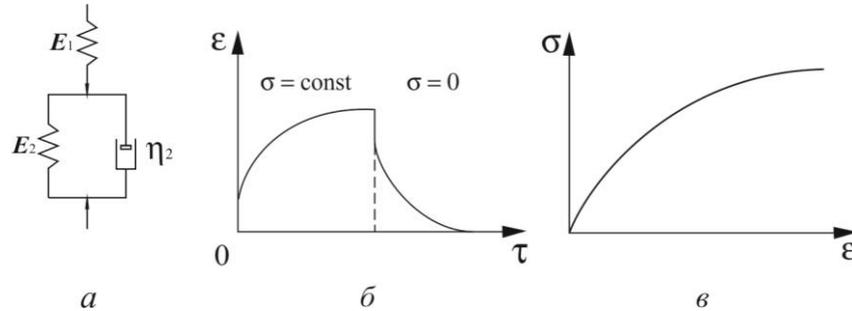


Рис. 1. Упругоэластическая модель деформирования: *a* – структура модели; *б* – график деформирования в режиме ползучести; *в* – кривая деформирования при растяжении с постоянной скоростью

уравнения отдельно для каждой характеристики и использовать их для дальнейших расчетов. Для сокращения объема вычислений при прогнозировании в качестве альтернативы предлагается использовать феноменологическую модель, анализируя которую можно рассчитывать деформационные и прочностные характеристики. Применяя к изучению деформаций феноменологический подход, касаются в основном только внешних проявлений механических свойств и изучают его поведение материала на основании рассмотрения идеализированных механических моделей [7]. При использовании подобной феноменологической модели количество уравнений регрессии сокращается до числа параметров модели.

Ранее был предложен способ прогнозирования деформационного поведения сульфатной хвойной целлюлозы с использованием стандартной упругоэластической модели (рис. 1), которую можно быть использовать для описания свойств целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки [3].

Зависимость, связывающая напряжение σ и деформацию ε для такой модели имеет следующий вид:

$$\sigma(\varepsilon) = E_2\varepsilon + \nu n(E_1 - E_2)(1 - e^{-\varepsilon/\nu n}),$$

где E_1 , E_2 – соответственно и длительный модуль упругости;

ν – скорость приложения нагрузки;

n – время релаксации напряжения.

Расчет параметров модели выполняется путем сопоставления экспериментальных значений напряжения и деформации образца в точках кривой «напряжение–деформация» (σ – ε) с рассчитанными по модели параметрами (E_1 , E_2 , n), полученными при математической обработке экспериментальных кривых σ – ε [1], и уточнения параметров. За параметры модели деформирования принимаются уточненные значения E_1^M , E_2^M и n^M , при которых минимален квадрат суммы отклонений значений напряжения экспериментальной кривой от модельной.

В табл. 2 представлены результаты расчета параметров модели деформирования (E_1^M , E_2^M и n^M). Для контроля соответствия модели экспериментальным данным здесь же приведены измеренные значения деформации разрушения ϵ_p и разрушающего напряжения σ_p .

На следующем этапе был проведен регрессионный анализ для оценки возможности прогнозирования параметров модели на основании структурно-морфологических характеристик волокна, измеренных на автоматическом анализаторе L&W FiberTester, а также числа Каппа и степени помола. Аппроксимация экспериментальных данных была осуществлена по линейному, логарифмическому, степенному уравнениям регрессии.

Таблица 2

**Расчетные параметры модели деформирования
для образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы**

Число Каппа	Степень помола, °ШР	Параметры модели			Характеристики в точке разрушения	
		E_1^M ,	E_2^M ,	n^M , с	ϵ_p , %	σ_p , МПа
		МПа				
25	17	4380	369	10,0	1,98	37,3
	20	5750	615	11,6	2,15	57,2
	25	6691	583	12,5	2,73	75,0
	30	7266	841	12,6	2,01	73,6
	40	7498	691	13,3	2,45	83,0
30	15	4729	455	9,5	1,66	37,1
	20	5789	612	11,6	2,22	58,5
	25	6602	651	12,0	2,30	68,0
	30	7036	674	11,7	2,31	71,6
	40	7076	674	12,1	2,28	72,6
35	16	4041	320	9,1	1,72	30,5
	20	5390	467	11,9	2,73	58,8
	25	5891	464	11,8	2,58	61,5
	30	6321	557	11,1	2,36	62,1
	40	6730	677	12,0	2,23	68,5
40	17	4840	506	9,4	1,56	36,7
	20	6452	637	11,6	2,19	64,0
	25	6143	536	11,4	2,42	61,9
	30	6757	603	11,9	2,52	71,5
	40	6826	600	11,9	2,40	70,3
45	16	4873	553	9,2	1,48	36,1
	20	5033	397	10,9	2,19	46,8
	25	5858	489	12,1	2,70	63,9
	30	6291	665	13,9	2,55	74,7
	40	6966	583	11,9	2,59	73,7
50	14	3958	457	9,1	1,34	27,8
	20	5279	455	13,0	2,76	61,0
	25	5909	548	12,6	2,57	65,5
	30	5599	503	12,6	2,54	61,4
	40	5753	475	12,1	2,75	63,0

В качестве переменных x_i приняты средняя длина x_1 и ширина x_2 , фактор формы x_3 , угол излома x_4 , число изломов на волокно x_5 , длина сегмента x_6 , доля мелочи x_7 , а также число Каппа x_8 и степень помола x_9 .

Средняя стандартная ошибка прогнозирования параметров модели составляет от 4 до 10 %. Наиболее достоверные результаты дает прогнозирование по линейному уравнению регрессии, которое и было принято для дальнейшего использования.

Для прогнозирования зависимостей «напряжение–деформация» целлюлозно-бумажных материалов с использованием феноменологической модели деформирования по результатам измерений характеристик волокна на автоматическом анализаторе L&W Fiber Tester и расчета характеристик деформативности при математической обработке этих кривых была разработана программа Prognoz [8]. На рис. 2 представлен внешний вид программы.

Исходные данные для проведения расчетов: имя образца, число Каппа, степень помола, структурно-морфологические характеристики волокна, полученные с помощью L&W FiberTester, условия растяжения (длина и ширина образца, скорость растяжения). Расчеты могут быть выполнены с использованием только данных о структурно-морфологических характеристиках ($x_1 \dots x_7$) – вариант 1; с добавлением к ним данных о числе Каппа и степени помола ($x_1 \dots x_9$) – вариант 2.

В процессе моделирования по уравнениям регрессии считывают параметры модели деформирования и прогнозные значения плотности, толщины, деформации разрушения и разрушающего напряжения для выбранного образца. Далее рассчитывают точки кривой «напряжение–деформация», выполняют

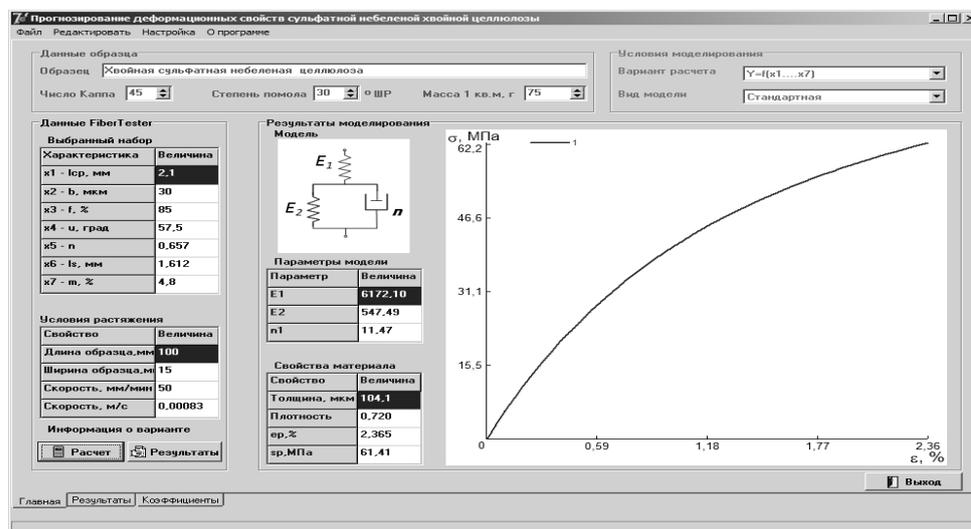


Рис. 2. Окно программы Prognoz при проведении расчетов

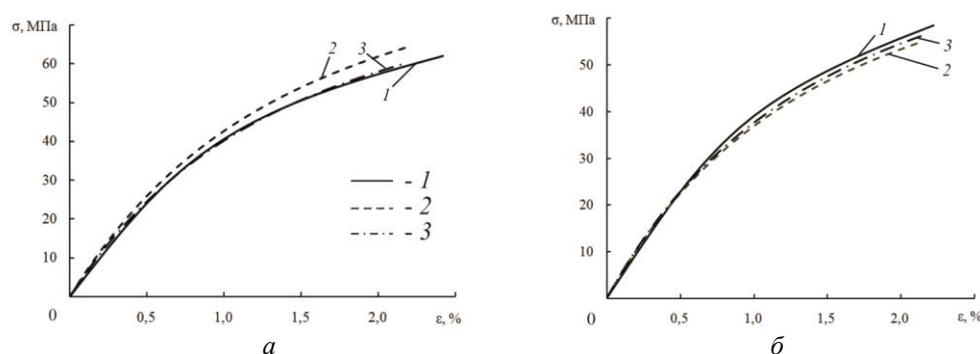


Рис. 3. Примеры экспериментальных и рассчитанных в программе Prognoz кривых «напряжение–деформация»: *а* – образец с числом Каппа 40 и степенью помола 25 °ШР; *б* – образец с числом Каппа 30 и степенью помола 20 °ШР; 1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая для варианта 1; 3 – для варианта 2

математическую обработку модельной кривой и вычисляют характеристики деформативности. Результаты экспортируют в MS Excel для последующего анализа.

На рис. 3 представлены примеры экспериментальных и модельных кривых «напряжение–деформация», на которых прослеживается их соответствие, что свидетельствует о работоспособности разработанной методики. В большинстве случаев ошибка расчетов деформационных и прочностных характеристик в программе Prognoz составляет от 0,5 до 12,0 %.

Таким образом, установлена возможность использования феноменологической модели деформирования стандартного упруго-эластического тела с одним временем релаксации для прогнозирования характеристик деформативности и прочности при растяжении образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы с известными числом Каппа и степенью помола по структурно-морфологическим характеристикам волокна, полученным на автоматическом анализаторе L&W FiberTester. Это позволяет сократить время получения информации о деформационных свойствах целлюлозного материала до 20 мин, без изготовления отливок и проведения испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Я.В., Комаров В.И. Математическая обработка кривых зависимости «напряжение–деформация», полученных при испытании целлюлозно-бумажных материалов на растяжение // Лесн. журн. 1995. №1. С. 109–114. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Лесн. вестник МГУЛ. 2000. №3 (12). С. 52–62.
3. Комаров В.И., Казаков Я.В. Использование феноменологической модели деформирования для прогнозирования деформативности сульфатной небеленой целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2000. №5. С. 38–41.

4. Манахова Т.Н., Казаков Я.В. Изменение свойств волокон хвойной сульфатной небеленой целлюлозы в процессах производства // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы V Всерос. конф. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2012. С. 350–353.

5. Манахова Т.Н., Казаков Я.В. Оптимизация использования прочностного потенциала хвойного волокна в процессах производства // Современное оборудование и технологии изготовления бумажно-картонной продукции из макулатурного сырья. Производство гофрокартона и изготовление тары: материалы и доклады 13-й Междунар. науч.-техн. конф. 23–25 мая 2012 г., Караваево. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2012. С. 75–83.

6. Пузырев А.С. Измерение качества бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1966. 410 с.

7. Тюленева Е.М. Уточнение реологической модели древесины / Хвойные борельной зоны. 2008. № 1–2. С. 179–183.

8. Свидетельство № 2013619256 РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для прогнозирования деформационных характеристик целлюлозы по результатам анализа волокна (Prognoz) / Казаков Я.В, Манахова Т.Н.; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО Северный (Арктический) федеральный университет (RU). № 2013617338; заявл. 13.08.13; опубл. 30.09.13, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

9. Karlsson H. Fiber Guide. Fiber analysis and process applications in the pulp and paper industry. AB Lorentzen&Werrte. 2006. 120 p.

Поступила 15.07.13

Calculation of Phenomenological Model Parameters of Cellulose Material Deformation Based on the Data from Automated Analyzer

T.N. Manakhova, Postgraduate Student
Ya.V. Kazakov, Ph.D. (Engineering)

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia
E-mail: TatiankaYa17@yandex.ru

The paper presents a method developed to predict deformation tensile behaviour of unbleached softwood kraft pulp using a phenomenological model based on the equation of a typical body with a single relaxation time. The model parameters are calculated by multivariate regression analysis. The model links the properties of fiber and tensile deformation properties of pulp and paper material made of unbleached softwood industrial kraft pulp with different lignin content (the Kappa number 25.9 ... 51.4) and with refining degree of 14 ... 40 °SR .

As input data we used measurements of fiber structural-morphological characteristics taken by the automated analyzer L&W FiberTester.

During the simulation, parameters of the deformation model are calculated by regression equation. Predicted values of density, thickness, strain to failure, and failure stress for the selected sample are calculated. Then points of "stress-strain" curve are calculated, mathematical processing of the model curve is performed and characteristics of deformability are calculated. The results are exported to MS Excel for further analysis.

The presented method of predicting deformability and tensile strength for unbleached softwood kraft pulp with known Kappa number and degree of grinding allows us to reduce the time required to obtain data on the deformation properties of cellulose material to 20 minutes without having to make pulp handsheets or run any tests.

Keywords: unbleached softwood kraft pulp, deformation characteristics, structural and morphological characteristics of cellulose fiber, phenomenological model.

REFERENCES

1. Kazakov Ya.V., Komarov V.I. Matematicheskaya obrabotka krivykh zavisimosti "napryazhenie-deformatsiya", poluchennykh pri ispytanii tsellyulozno-bumazhnykh materialov na rastyazhenie [Mathematical Processing of the "Stress-Strain" Curves Obtained During Tension Testing of Pulp and Paper Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 1995, no. 1, pp. 109–114.
2. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Analiz mekhanicheskogo povedeniya tsellyulozno-bumazhnykh materialov pri prilozhenii rastyagivayushchey nagruzki [Analysis of Mechanical Behavior of Pulp and Paper Materials at Tensile Load]. *Lesnoy vestnik MGUL*, 2000, no. 3 (12), pp. 52–62.
3. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Ispol'zovanie fenomenologicheskoy modeli deformirovaniya dlya prognozirovaniya deformativnosti sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy [Phenomenological Model for Predicting Deformation of Unbleached Kraft Pulp]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2000, no. 5, pp. 38–41.
4. Manakhova T.N., Kazakov Ya.V. Izmenenie svoystv volokon khvoynoy sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy v protsessakh proizvodstva [Changes in Fiber Properties of Unbleached Softwood Sulphate Pulp During Production]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy V Vserossiyskoy konf.* [Latest Advances in Chemistry and Chemical Engineering of Plant Materials: Proc. 5th All-Russian Conf.]. Barnaul, 2012, pp. 350–353.
5. Manakhova T.N., Kazakov Ya.V. Optimizatsiya ispol'zovaniya prochnostnogo potentsiala khvoynogo volokna v protsessakh proizvodstva [Optimizing the Use of Strength Capacity of Coniferous Fibers in Production]. *Sovremennoe oborudovanie i tekhnologii izgotovleniya bumazhno-kartonnoy produktsii iz makulturnogo syr'ya. Proizvodstvo go-frokartona i izgotovlenie tary: Materialy i doklady 13-y Mezhdunar. nauch-tekhn. konf.* [Modern Equipment and Technology of Paper and Paperboard Production from Waste Paper. Production of Corrugated Cardboard and Package: Proc. 13th Int. Sci. and Tech. Conf.]. 23–25 May 2012, Karavaevo. Moscow, 2012, pp. 75–83.
6. Puzyrev A.S. *Izmerenie kachestva bumagi i kartona* [Measuring the Quality of Paper and Paperboard]. Moscow, 1966. 410 p.
7. Tyuleneva E.M. Utochnenie reologicheskoy modeli drevesiny [Rheological Model of Wood Revisited]. *Khvoynye boreal'noy zony*, 2008, no. 1–2, pp. 179–183.
8. Kazakov Ya.V., Manakhova T.N. *Programma dlya prognozirovaniya deformatsionnykh kharakteristik tsellyulozy po rezul'tatam analiza volokna (Prognoz)* [Program for Prediction of Deformation Characteristics of Pulp by Fibers Analysis (Prognoz)]. Certificate of State Registration of Computer Software. Russian Federation, no. 2013619256.
9. Karlsson H. *Fibre Guide. Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. AB Lorentzen & Werrte, 2006. 120 p.



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ ГРАЧЕВ
(к 100-летию со дня рождения)



Имя профессора Александра Васильевича Грачева, выдающегося специалиста и ученого в области деревообрабатывающих производств, преподавателя и методиста, широко известно в России и за рубежом.

А.В. Грачев родился 25 декабря 1913 г. в д. Бобрюково Городецкого р-на Нижегородской области в семье крестьянина. Обучался в школе 2-й ступени, в летнее время ходил на пароходе в качестве помощника машиниста. Семнадцатилетним юношей после окончания школы сменил Волжское речное пароходство на суровые воды Северной Двины и в течение 5 лет работал в должности кочегара, помощника механика, механика на различных судах.

С 1935 г. по 1945 г. он трудился в системе треста «Северолес» сначала слесарем, механиком, затем начальником силовых станций, главным механиком и главным инженером. Наиболее эффективной была его работа в должности главного инженера Архангельского лесопильного завода № 5-7, где в короткий срок было организовано производство новых видов продукции оборонного назначения (производство лыж, деревянных деталей для самолетостроения, пушечного производства, специальной тары для транспортировки снарядов, патронов и др. изделий), изготовлены серии специальных станков и различные типы инструментов и приспособлений военного назначения. В целях экономии дефицитного бензина были сконструированы оригинальные парогазовые аккумуляторы для паровозов и автомобилей.

За успешное выполнение правительственного задания Указом Президиума Верховного Совета СССР от 11 мая 1944 г. А.В. Грачев награжден орденом Ленина. В 1945 г. по приказу наркома лесной промышленности СССР он был откомандирован на факультет механической обработки древесины Ленинградской лесотехнической академии для получения инженерного образования. Будучи студентом дневной формы обучения, учился только на отлично, получал сталинскую стипендию, продолжал изобретательскую деятельность, был председателем СНО академии. Его студенческие разработки отмечены наградами, внедрены в производство.

После досрочного окончания академии с отличием был рекомендован в аспирантуру, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Будучи в аспирантуре, он проводил занятия со студентами, читал лекции, публиковал научные и методические работы. В 1953 г. был избран на должность доцента кафедры лесопильного производства.

Решением секретариата ЦК КПСС № 92/16 от 03.01.1959 г. А.В. Грачев был направлен в распоряжение Архангельского обкома КПСС для работы в должности директора Центрального научно-исследовательского института механической технологии древесины (ЦНИИМОД). Под его руководством ЦНИИМОД перебазиро-

вался из г. Химки Московской области в г. Архангельск. За короткий срок были восстановлены и созданы новые лаборатории, базы, научные отделы, конструкторское бюро, аспирантура, экспериментальный завод. ЦНИИМОД становится крупным научным центром и головным институтом лесопильной промышленности страны, а А.В. Грачев – его директором до 1975 г. Его выступления с докладами и лекциями за рубежом, особенно в Канаде, Финляндии, Турции, стали известны международной научной элите.

А.В. Грачев длительное время являлся членом научного совета по лесной промышленности при Государственном комитете по науке и технике Совета Министров СССР, членом научно-технического совета Минлеспрома СССР, членом редколлегии журнала «Деревообрабатывающая промышленность». Он тесно сотрудничал с академией, руководил научными исследованиями, выступал с докладами.

Его книга «Механизация и автоматизация трудоемких операций в лесопильном производстве» является настольной для инженерно-технических работников, конструкторов лесопильного оборудования, студентов, обучающихся по специальности «Технология деревообработки». За годы работы А.В. Грачев опубликовал более 100 научных трудов, ему принадлежат 40 авторских свидетельств на различные изобретения, которые внедрены в производство и отмечены наградами многочисленных выставок.

А.В. Грачев принимал активное участие в общественной жизни г. Архангельска. С 1961 г. по 1973 г. он избирался депутатом городского Совета депутатов трудящихся, председателем городской и областной организаций общества «Знание».

В 1975 г. он был избран по конкурсу на должность профессора кафедры лесопильного производства и гидротермической обработки древесины Ленинградской лесотехнической академии, в 1976 г. – заведующего этой кафедрой. В 1986 г. А.В. Грачев по состоянию здоровья вышел на пенсию, но связь с академией не прекращал: выступал с докладами на научно-практических конференциях, консультировал студентов и аспирантов, читал лекции. Скончался А.В. Грачев в 1988 г., оставив о себе светлую память.

За свою работу А.В. Грачев награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», семнадцатью медалями. Но выше всех наград для него было признание коллег и учеников, высоко ценивших его богатый опыт, эрудицию, ораторское искусство, незаурядные человеческие качества.

Для увековечивания памяти А.В. Грачева Архангельский городской Совет депутатов 31 октября 2002 г. принял решение установить мемориальную доску на доме, в котором он жил. В торжественной обстановке она была установлена в 2003 г.

*В.И. Онегин,
президент С.-Петербургского государственного
лесотехнического университета имени С.М. Кирова,
доктор технических наук, профессор*

*V.A. Onegin, Doctor of Engineering, Professor, President of St. Petersburg State Forest
Technical University*

Aleksandr Grachev (to the 100th birthday anniversary)

Выставки для достижения вашего успеха!

2 – 4 апреля 2014 г. в Архангельске, во Дворце спорта и на открытой площадке, выставочный центр «Поморская ярмарка» проводит два крупных выставочных мероприятия: XIV межрегиональную специализированную выставку «Лес и деревообработка» и XXIII торгово-промышленную выставку «Архангельск-ЕХРО».

Объединение этих проектов позволяет посетителям в одном месте и в одно время ознакомиться с услугами и предложениями компаний в смежных сферах деятельности, таких как лесозаготовка, переработка леса, спецтехника, строительство, недвижимость, энергетика и др.

Компаниям-участникам предоставляется возможность продемонстрировать передовые технологии и свои достижения, рассказать о достоинствах своих предложений, а также наиболее широко представить на рынке Архангельска свой потенциал для промышленного сектора, утвердиться на рынке как надежный производитель и поставщик, установить и укрепить деловые контакты, обменяться опытом.

Выставка «Лес и деревообработка» пройдет в рамках «Архангельского лесного форума». Организаторами выступают Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, Агентство природных ресурсов и экологии Архангельской области, Центр по охране окружающей среды. Форум пройдет при официальной поддержке Федерального агентства лесного хозяйства.

«Архангельск-ЭКСПО» – одно из крупных специализированных выставочных мероприятий, проводимых на территории Архангельской области. Организатором выступает ООО «Поморская ярмарка». Выставка пройдет при поддержке Архангельской торгово-промышленной палаты.

Генеральные информационные партнеры выставок – газеты «Лесной регион» и «Промышленность региона».

С программой выставок можно ознакомиться: на сайте www.поморская-ярмарка.рф или по телефону (8182) 639-609. Информацию о выставках можно получить по телефонам: (8182) 288-623, 287-741.