

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

4/328

2012

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

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

Заместители главного редактора:

д-р с.-х. наук, проф. **Н.А. Бабич**,

д-р хим. наук, проф. **К.Г. Боголищын**

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. Мясишев**; 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» № 4/328

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 03.05.2012. Подписан в печать 05.07.2012. Заказ № 527

Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 15,377. Усл. кр.-отт. 15,377.

Уч.-изд. л. 20,777. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.

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

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18,

e-mail: forest@agtu.ru, forest@narfu.ru, http://www.lesnoizhurnal.ru

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

Издательско-полиграфический центр им. В.Н. Булатова

ФГАОУ ВПО САФУ

163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Н.А. Моисеев.</i> Леса и лесной сектор Архангельской области: историческая роль и место в национальной лесной политике России.....	7
<i>В.В. Беляев, Д.Н. Клевцов, А.И. Барабин, Н.А. Дружинин.</i> Выбор площадей для успешного воспроизводства ели в связи с распространением заморозков на территории Архангельской области.....	16
<i>Н.А. Мингалева, С.В. Пестов, С.В. Загирова.</i> Жизненное состояние и биоповреждения листьев интродуцированных деревьев и кустарников в зеленых насаждениях города Сыктывкара.....	25
<i>О.Л. Цандекова.</i> Фенологические особенности древесных видов в условиях действия выбросов автотранспорта.....	33
<i>В.В. Пахучий.</i> Факторы динамики сосновых насаждений на объектах осушительной гидромелиорации в Республике Коми.....	40
<i>Н.Н. Бессчетнова.</i> Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной.....	48
<i>Н.Р. Сунгурова, Р.В. Сунгуров.</i> Выращивание культур сосны на луговиковой вырубке северной подзоны тайги.....	56
<i>Н.М. Дебков.</i> О влиянии строения культур сосны обыкновенной на их товарную структуру.....	64

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.Н. Орловский, А.И. Карнаухов.</i> Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов.....	70
<i>В.Н. Лобанов.</i> Оценка опорных свойств гусеничных лесных машин при работе на слабых почвогрунтах.....	77
<i>В.М. Федулов, В.А. Барабанов.</i> Результаты исследования гидродинамических характеристик плотов из плоских сплоченных единиц.....	83

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>М.Н. Гамрекели.</i> Эффективность сушки древесной стружки с применением на второй стадии воздуха, осушенного охлаждением.....	91
<i>А.В. Антонов, Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич.</i> Получение огнезащитных древесноволокнистых плит.....	99
<i>Ф.В. Пошарников, А.В. Усиков, А.И. Серебрянский.</i> Применение композиционного материала на основе полимера в узлах трения деревообрабатывающего оборудования.....	104

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Ф.Х. Хакимова, К.А. Синяев, Т.Н. Ковтун.</i> Отбелка сульфатной хвойной целлюлозы по ЕСF-технологии пероксидом водорода и хлоритом натрия.....	112
<i>Е.И. Васильева, А.С. Смолин, О.А. Удовенко, Р.О. Шабиев.</i> Особенности определения показателя катионной потребности в волокнистых гидросуспензиях...	122

<i>Э.Л. Алимтеев, Я.В. Казаков, В.И. Комаров.</i> Расчет регрессионных моделей для оптимизации управляемого АСУТП технологического процесса производства крафт-лайнера.....	129
<i>Б.К. Иванов, В.В. Глухих.</i> Оценка линейных связей между результатами измерений выделения формальдегида из фанеры различными методами.....	138
<i>А.М. Байбородин, К.Б. Воронцов, Н.И. Богданович.</i> Коагуляционная очистка сильнозагрязненного стока ДПЦ-3 ОАО «Архангельский ЦБК».....	144
ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА	
<i>А.П. Бровин, А.В. Пластинин.</i> Применение классификации запасов в целлюлозно-бумажной промышленности для эффективного управления ими.....	151



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.A. Moiseev.</i> Forests and Forest Sector of the Arkhangelsk Region: the Historical Role and Place in the Russian Forest Policy.....	7
<i>V.V. Belyaev, D.N. Klevtsov, A.I. Barabin, N.A. Druzhinin.</i> Selection of Areas for Successful Reproduction of the Spruce to Distribution of Frosts in the Arkhangelsk Region.....	16
<i>N.A. Mingalyova, S.V. Pestov, S.V. Zagirova.</i> Life Status and Foliage Biological Impairment of Alien Trees and Brushwood in the Green Zones of the City of Syktyvkar.....	25
<i>O.L. Tsandekova.</i> Phenological Characteristics of Wood Types under Conditions of Vehicle Emissions.....	33
<i>V.V. Pakhuchiy.</i> Factors of the Pine Stands Dynamics on the Reclamation Project Sites in the Komi Republic.....	40
<i>N.N. Besschetnova.</i> Fat Content in Shoot Cells of Scotch Pine Elite Trees.....	48
<i>N.R. Sungurova, R.V. Sungurov.</i> Results of Pine Growing in Meadow Felling Areas of the Northern Boreal Subzone.....	56
<i>N.M. Debkov.</i> On Effect of Structure of Scotch Pine Cultures on their Commodity Composition.....	64

WOODEXPLOITATION

<i>S.N. Orlovsky, A.I. Karnaukhov.</i> Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes.....	70
<i>V.N. Lobanov.</i> Evaluation of Bearing Properties of Forest Tracked Vehicles Operating on Soft Soil.....	77
<i>V.M. Fedulov, V.A. Barabanov.</i> Results of Experimental Studies of Hydrodynamic Characteristics of Flat-Unit Rafts.....	83

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>M.N. Gamrekely.</i> Efficiency of Two-Stage Drying of Wood Chips Using Cool-Dried Air	91
<i>A.V. Antonov, N.A. Petrusheva, Yu.D. Alashkevich.</i> Production of Flame-Retarded Hardboard.....	99
<i>F.V. Posharnikov, A.V. Usikov, A.I. Serebryansky.</i> Use of Polymer-Based Composite Material in Friction Units of Woodworking Equipment.....	104

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>F.Kh. Khakimova, K.A. Sinyaev, T.N. Kovtun.</i> ECF Bleaching of Sulphate Softwood Pulp by Hydrogen Peroxide and Sodium Chlorite.....	112
<i>E.I. Vasilyeva, A.S. Smolin, O.A. Udovenko, R.O. Shabiev.</i> Characteristic of Cationic Demand Estimation in Fibrous Hydro Suspensions.....	122
<i>E.L. Alimpiev, Ya.V. Kazakov, V.I. Komarov.</i> Calculation of Regression Models for Optimization of APCS-Controlled Process in Kraft-Liner Production.....	129
<i>B.K. Ivanov, V.V. Glukhikh.</i> Evaluation of Linear Connections Among the Measurements Results of Formaldehyde Isolation from Plywood by Various Methods.....	138

A.M. Baiborodin, K.B. Vorontsov, N.I. Bogdanovich. Coagulation Treatment of Heavily Polluted Effluents of the Woodroom-3 of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill” 144

ECONOMICS AND MANAGEMENT

A.P. Brovin, A.V. Plastinin. Implementation of Classification of Stocks in Pulp-and-Paper Industry for the Purpose of their Efficient Management..... 151



УДК 630*611

Н.А. Моисеев

Московский государственный университет леса

Моисеев Николай Александрович родился в 1929 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую государственную лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАСХН, заведующий кафедрой экономики и организации лесного хозяйства и лесной промышленности Московского государственного университета леса. Имеет более 500 печатных работ в области лесной экономики, лесоустройства, лесопромышленности, государственной лесной политики и лесного законодательства.
E-mail: moiseev@mgul.ru



ЛЕСА И ЛЕСНОЙ СЕКТОР АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ: ИСТОРИЧЕСКАЯ РОЛЬ И МЕСТО В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЛЕСНОЙ ПОЛИТИКЕ РОССИИ

Рассмотрены вопросы истории освоения лесов Архангельской области, занимающей особое геополитическое положение для лесного сектора России и ее международной лесной торговли, нынешнего состояния эксплуатационных запасов и первоочередные меры, связанные с необходимостью кардинального улучшения лесовосстановления и введения нового экономического механизма, обеспечивающего баланс интересов всех основных субъектов лесных отношений.

Ключевые слова: лесной сектор, устойчивое пользование и управление лесами, экономический механизм, обеспечивающий баланс интересов субъектов лесных отношений.

Архангельская область с ее лесами и лесным комплексом отраслей занимает особое положение в связи со своим геополитическим положением. Архангельск с его морским портом явился первым «окном» в Европу, а для участия в мировой лесной торговле он и до сих пор остается главными морскими воротами страны.

Особое положение для всего лесного сектора экономики страны связано с тем, что к Архангельску идут лесные грузопотоки со всего огромного многолесного бассейна р. Северной Двины и ее крупных притоков, а существующие железные дороги широкой колеи и проектируемая магистраль Белкомур, которая свяжет Архангельск с Северным Уралом и Западной Сибирью, удешевят лесопroduкцию на внешнем рынке.

Удачное геополитическое положение лесных массивов, тяготеющих к Архангельску, было оценено в послевоенные годы при перебазировании лесозаготовок из истощенных рубкой южных и центральных районов на север

Таблица 1

Краткая характеристика лесов Архангельской области по целевому назначению в зональном разрезе

Леса	Общая площадь лесных земель, тыс. га	Лесопокрываемые площади				Защитные леса		Общий средний годичный прирост	
		Всего		Эксплуатационные леса		тыс. га	%	тыс. м ³	%
		тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. м ³	%
Леса и лесные земли Всего земель лесного фонда В том числе:	29 426 28 657	— 100,0	17 612 17 470	— 100,0	5 148 4 769	— 100,0	29 564 28 724	— 100,0	
пригородные леса	6 080	16,8	1 835	10,3	1 898	39,8	2 773	9,7	
и редкостойная тайга	12 318	41,9	7 527	43,1	1 792	37,6	10 617	37,0	
северотаежные леса	9 187	41,3	8 108	46,4	1 079	22,6	15 334	53,3	
среднетаежные леса									

с превращением Архангельского лесопромышленного узла во «всесоюзную лесопилку» и «валютный цех» страны.

Занимая многие годы авангардную роль в стране, Архангельская область естественно должна бы быть образцом в постановке лесного дела как сегодня, так и в будущем. Оправдывает ли она сегодня такие ожидания и на что надо обратить внимание в будущем? В нижеследующей статье ограничимся оценкой состояния лесов и хозяйства в них.

В табл. 1 представлена краткая характеристика лесов области. Судя по среднему годовичному приросту, потенциал лесов достигает почти 30 млн м³. Существенной особенностью лесов, отражающейся на их производительности и экономической доступности, является преобладание на почвах избыточного увлажнения. Примерно две трети площади лесов (42,0 %) занимают долгомошниковые и сфагновые типы леса, а также влажные черничники (41,0 % черничники, из них влажные – половина). В их составе на древостои V–Va,б классов бонитета приходится 61,0 % всей лесопокрываемой площади области. В составе площади лесных земель 21,0 % занимают болота. В общей лесопокрываемой площади 21,4 % составляют защитные леса, около 40,0 % из которых пригородные леса и редкостойная тайга.

Для сравнения в табл. 2 приведены данные о лесах ближайшего зарубежного соседа – Финляндии, относящихся к зоне бореальных лесов и имеющих много общего с лесами Европейского Севера России по своему составу и истории их освоения.

По лесопокрываемой площади сравниваемые объекты (Архангельская область и Финляндия) примерно равны, но по общему годовичному приросту, как потенциально возможному размеру лесопользования, они значительно различаются (табл. 2). Конечно, сказываются более суровые природные условия для Архангельской области. Здесь нет опоясывающего Финляндию с севера течения Гольфстрим и влияния более теплого Балтийского моря. Однако решающую роль играет уровень ведения лесного хозяйства.

Таблица 2

Отдельные показатели лесов и лесного сектора экономики Финляндии

Показатели	Значение показателей
Площадь лесных земель, млн га	22,8
Лесопокрытая площадь, млн га	21,9
Годичный прирост, млн м ³ :	
1950 г.	46
2000 г.	75
2010 г.	81
2020 г.	95
Ежегодные объемы мероприятий за 1965–1975 гг.:	
лесные культуры, тыс. га	143...225
уход за молодняками, тыс. га	170...280
лесоосушение, тыс. га	240...350
строительство лесных дорог, тыс. км	1,6...6,8
Государственная поддержка частных владельцев:	
от всех расходов, %	60
всего инвестиций (по данным Э. Похтила, бывшего дир. Гос. ин-та леса), млрд финн. марок	10
Производство (2011 г.):	
пиломатериалов, тыс. м ³ /год	9 600
фанеры, тыс. м ³ /год	1 100
целлюлозы, тыс. т/год	10 600
бумаги и картона, тыс. т/год	11 600
Выручка от лесозэкспорта (2011 г.), млрд долл. США	13,2
Душевой уровень потребления бумаги и картона, кг/чел.	346

При равной площади лесов Финляндия за последние пятьдесят лет удвоила годичный прирост своих лесов, методично проводя в жизнь государственные программы по их улучшению, в том числе посредством лесокультурных, лесосушительных мероприятий, ухода за лесами, строительства лесных дорог, масштабы которых на два порядка выше показателей Архангельской области. Интенсификация хозяйства по улучшению лесов в Финляндии главным образом была обязана массивной государственной поддержке. Государство оплачивало до 60 % всех расходов по частным лесам, которые занимают примерно две трети общей площади лесов. С помощью государственно-частного партнерства достигнут огромный эффект в расширении производства лесопроductии и увеличении поступления валютной выручки.

Следует отметить, что сами частные лесовладельцы не отважились бы на такие капитальные вложения из-за чрезвычайно длительного срока окупаемости, измеряемого не годами, а десятками лет. Конечно, без помощи государства они не смогли бы справиться. Подобный пример имел место и в США, где только с помощью государства были осуществлены меры по улучшению частных лесов.

Не лишне сделать краткий экскурс в историю эксплуатации лесов Архангельской области, которая в общем характерна и для всей многолесной зоны страны.

Согласно литературным источникам, эксплуатация лесов имела место уже в XI в., но промышленные масштабы она приобрела в XIV-XV вв. в связи со спросом внешнего рынка на мачтовый лес. При этом нижний отпусковой диаметр начинался с 45 см на высоте груди, к началу XX в. он снизился до 32...35 см. Такая древесина могла быть заготовлена только выборочными рубками на прииск, позже перешедшими в подневольно-выборочные рубки, которые главенствовали до середины XX в. До революции удельный вес сплошных рубок составлял около 10 %, к 30-м годам XX в. – 25...30 %. При этом первоочередной рубке подлежали крупномерные высокосортные сосновые стволы, из которых выбирали только комлевую половину, верхнюю часть оставляли в лесу.

Подобная система рубок привела к смене сосны елью, которая селилась под нею в качестве подростка или второго яруса. Еще в начале 60-х годов в лесах вокруг станции Обозерской и Плесеца автор наблюдал остатки таких выборочных рубок, от которых сохранились только пни лиственниц и сосен и еловый древостой с запасом 150...200 м³/га. По оценкам пневой части такие древостои имели запас около 800...1000 м³/га. Сейчас таких высокополнотных древостоев, о которых писал в своих трудах и проф. М.Е. Ткаченко, уже нет. По ним судят о возможностях нашей тайги. Заметим, что Линдуловская роща под Санкт-Петербургом, созданная Фокелем, достигала запаса около 1800 м³/га. Высокая продуктивность лиственницы связана с дренированными местоположениями на карбонатных почвах, которые распространены в Архангельской области. Первоочередными объектами вырубки и были продуктивные леса прижелезнодорожных районов. Объем рубок здесь достигал около 12,5 млн м³/год, что составляло половину от областного объема. Расчетная лесосека здесь перерубалась в 2 раза.

Выборочные рубки были вынужденным мероприятием из-за отсутствия глубокой переработки мелкотоварной древесины и древесных отходов. Главным потребителем их могла быть тогда целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП), но в 1957 г. производство целлюлозы составляло лишь 225 тыс. т, и только 7-летним планом (1958–1965 гг.) было предусмотрено увеличение объемов выпуска ее до 1225 тыс. т. Поэтому и после 50-х годов еще преобладали условно-сплошные рубки с оставлением недорубов и мелко-товарных деревьев на корню.

Процесс последовательной вырубке лучших древостоев с оставлением худших привел не только к смене пород, но и к ухудшению их товарной структуры и истощению пиловочной древесины, что ощущают лесопильные комбинаты не только Архангельской области, но и других субъектов РФ, например Республики Карелия.

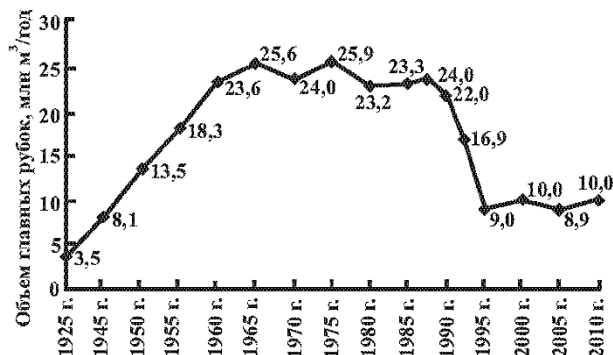


Рис. 1. Объем главных рубок в Архангельской области в 1925–2010 гг.

Изложенная выше историческая справка наглядно демонстрирует последствия односторонней лесозексплуатации без должных мер по воспроизводству используемых ресурсов. На рис. 1 показана динамика объема главных рубок по Архангельской области за 1925–2010 гг.

Пик лесозаготовок пришелся на период с 1960 по 1990 гг., после которого произошел обвал всего лесного комплекса, в том числе и лесозаготовок (в 2,5 раза) из-за непродуманной приватизации, приведшей к разрыву не только технологических, но и экономических связей между субъектами лесных отношений.

На рис. 2 показан масштаб смены хвойных древостоев мягколиственными из-за отсутствия надежной системы мер лесовосстановления. Процесс смены пород на сплошных вырубках в 60-х годах достигал 70 %, к 1985 г. он снизился до 50 % и сохранился к нынешнему времени на уровне 30 %.

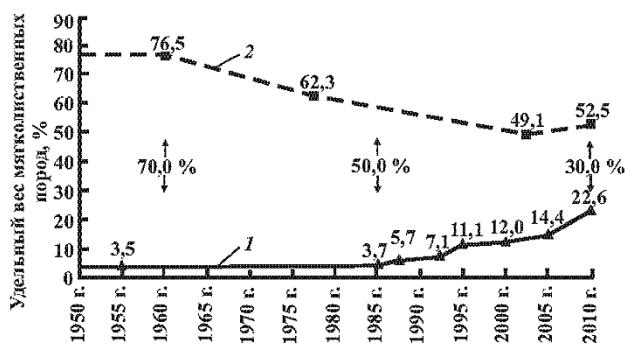


Рис. 2. Смена хвойных древостоев мягколиственными в 1950–2010 гг.: 1 – поступающие в рубку, 2 – на сплошных вырубках

Данные табл. 3 демонстрируют изменение породного состава лесов области в 1920–2010 гг.

Таблица 3

**Динамика породного состава лесов Архангельской области в 1920–2010 гг.
(% от площади лесного фонда по данным учета на 01.01.2011 г.)**

Год	Сосна	Ель	Всего хвойных	Береза	Осина	Всего мягколиственных
1920	38,0	56,0	94,0	6,0	–	6,0
1927	36,5	57,0	93,5	6,5	–	6,5
1966	26,1	61,8	87,9	11,1	1,0	12,1
2003	26,4	54,3		17,9	1,2	19,1
2007	26,3	52,6	78,9	20,0	1,1	21,1
2010	26,0	–	76,5	–	–	23,5
<i>Итого, % от 1920 г.</i>	68,4	93,9	81,4	333,0	–	392,0

По этим данным видно значительное уменьшение удельного веса сосновых лесов (от 38 до 26 % от лесопокрытой площади). Часть местоположений сосны занята елью в результате выборочных рубок, другая часть – мягколиственными породами, главным образом березой, которая вытеснила и ель на самых продуктивных почвах после сплошных рубок. Удельный вес лиственных древостоев за последние 90 лет увеличился в 4 раза: от 6,0 % в 1920 г. до 23,5 % в 2010 г. В последующие годы этот показатель возрастет до 50 % и выше, о чем можно судить по данным табл. 4.

Таблица 4

Площади и средние классы бонитетов хвойных и мягколиственных насаждений по группам возраста

Группа возраста	Площадь, %		Средние классы бонитетов	
	Хвойные	Мягколиственные	Хвойные	Мягколиственные
Молодняки (до 20 лет)	47,5	52,5	IV,4	III,4
Средневозрастные	46,8	53,2	IV,3	III,1
Приспевающие	72,4	27,6	III,8	II,7
Спелые	91,2	8,8	V,0	III,2
<i>Всего</i>	76,5	23,5	IV,7	III,1

В молодняках и средневозрастных группах лесов области удельный вес мягколиственных пород составляет около 53 %, и в перспективе их увеличение в группе спелых лесов, где этот показатель сейчас пока 8 %. В прошлом облесенные вырубki распределились следующим образом: условия местопрорастания, соответствующие III классу бонитета, т. е. самой высокой в области продуктивности, заняты мягколиственными древостоями, а хвойные сохранились в условиях низших бонитетов (IV,5–Va,б); хвойные спелые остались только на почвах, характерных V классу бонитета, т. е. на тех, которые не отводили в рубку.

Таблица 5

Товарная структура, %, эксплуатационного запаса лесов Архангельской области (по данным Лесного плана 2008 г.)

Порода	Корневой запас	Деловая древесина			Технологическая древесина	Топливая древесина	Отходы	Средний объем хлыста, м ³	
		всего	крупная	средняя					мелкая
Сосна	100	84	16	42	26	5	3	0,23	
Ель	100	78	8	40	30	6	5	0,21	
Итого хвойных	100	79	10	40	29	5	5	0,22	
Береза	100	52	4	33	15	27	8	0,19	
Осина	100	41	11	21	9	26	22	0,49	
Итого мягколиственных	100	50	5	31	14	27	9	—	
<i>Всего</i>	100	74	9	39	26	10	6	0,22	

К чему это привело, видно из данных табл. 5, характеризующих товарную структуру современных эксплуатационных запасов. В составе хвойных крупномерная древесина занимает только 1/10 часть корневого запаса, а в составе еловых – 8 %. В тоже время в составе березняков на ее долю приходится еще меньше – 4 %. Результатом отрицательной селекции, т. е. выборки лучших древостоев при лесозаготовках, является средний объем хлыста 0,22 м³. На таком объекте практически невозможно организовать высокорентабельные лесозаготовки и лесопиление. Известная финская консалтинговая компания «Якко Пеурю», составлявшая по Северо-Западному федеральному округу стратегический мастерплан, сделала неутешительный вывод, что Северо-Западный регион России уже не будет конкурентоспособным на мировом рынке по традиционному для нее лесозаготовочному товару – пиломатериалам. Главным древесным ресурсом, который может в перспективе поставлять Россия на экспорт, станет мелкотоварная древесина – балансы. Но непродуманные таможенные пошлины ограничили ее поставку, а финских предпринимателей вынудили сменить вектор ориентации с России на Латинско-американский континент, в частности на Бразилию, где это сырье можно вырастить за 10 против 100 лет у нас.

Нередко можно слышать, что то состояние, в котором оказалась лесная отрасль не только в Архангельской области, но и в смежных субъектах РФ, вызвано прошлыми перерубами расчетных лесосек. Однако, по нашему мнению, главная причина состоит в том, что изначально отсутствовала надежная система воспроизводства лесов, а если точнее – система лесовосстановления и такое ключевое звено, как уход за формирующимися молодняками.

В мировой практике подобные явления также имели место: леса и в Финляндии, и в США до 50-х годов XX в., как и в нашей стране, были доведены до плачевного состояния.

Таблица 6

Динамика лесовосстановительных и гидролесомелиоративных работ в Архангельской области в 1988–2011 гг. и до 2018 г.

Мероприятия	1988 г.	1992 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2011 г.	2018 г.
Сплошные рубки	130,0/100,0	91,6/100,1	50,9/100,0	51,3/100,0	47,9/100,0	62,1/100,0	92,3/100,0
Лесные культуры	35,6/27,4	25,9/28,3	13,4/26,3	9,2/17,9	4,2/8,8	4,7/7,6	9,5/10,3
Уход за молодняками	33,5/25,8	30,9/33,7	28,7/56,4	20,3/39,6	11,6/24,2	11,3/10,2	17,0/18,4
Гидролесомелиорация	38,2/29,4	10,1/11,0	20,9/40,7	15,3/29,8	10,1/21,1	–/–	–/–

Примечание. В числителе приведены данные в тысячах гектарах, в знаменателе – в процентах.

Из них был выбран пиловочник, а оставлены только древостои, сбыт которых был возможен только при условии организации широкомасштабной глубокой переработки, главным образом, через самого массового потребителя – ЦБП. Такой подход был осуществлен в этих странах уже в 1950–1975 гг., после чего и началась интенсификация лесного хозяйства с заменой низкотоварных лесов на хозяйственно ценные. При этом главный упор и в этих, и в других странах делался на воспроизводство высокосортного пиловочника для производства конструкционных пиломатериалов, в первую очередь, для домостроения. Именно на эти цели шли вливания государственных средств в частные леса, без чего владельцы лесов на масштабную программу преобразования своих лесов никогда бы не отважились. Главный вывод лесных экономистов США сводился к тому, что предельный срок окупаемости инвестиций в лесном хозяйстве в связи с долгосрочным периодом лесовыращивания и был главным препятствием для частных владельцев, которые без помощи государства его бы не преодолели. В отечественной практике об этом забывают, полагая, что достаточно отдать леса в частные руки и сразу дело пойдет на лад.

В лесном хозяйстве многолесной Архангельской области (табл. 6) за 1988–2011 гг. удельный вес культур снизился в 4,7 раза, а рубок ухода в молодняках, как ключевого мероприятия, – в 2 раза, при этом он составляет 1/20 часть от требуемого объема. К 2018 г. – конечно для Лесного плана области, эти показатели существенно не изменятся.

Для лесов области возможно было бы, по крайней мере, на половине вырубок рассчитывать на сохранение подроста хвойных пород, а для лиственно-хвойных – и второго яруса хвойных. Это потребовало бы соответствующей технологии лесосечных работ. Однако и сохраненный подрост, и последующее возобновление от семенных куртин может дать желаемый эффект, если своевременно, при том дважды в течение 20-летнего риода, последовательно проводить осветления и чистки, предотвращая заглушение подроста и культур в последующем (к 10 – 20 годам) сомкнувшимся пологом мягколиственных пород. Недостаточные объемы этих мероприятий и приводили к тому, что не менее ны, а раньше и $\frac{3}{4}$ сплошных вырубок, оказывались

заселены мягколиственными породами. Для последних необходимы рубки ухода, ибо без этого невозможно получить ни фанерный кряж, ни пиловочник.

В спелых березняках удельный вес крупной древесины составляет всего 4 % (см. табл. 5). В связи с преобладанием лесов на избыточно-увлажненных почвах (2/3 от общей площади лесов) не обойтись без гидролесомелиорации, цель которой, по мнению финских лесоводов, не просто осушить лесные участки, а «заставить воду течь», чтобы обеспечить доступ кислорода в почву и улучшить ее производительные способности. В Финляндии объемы лесокультурных работ при той же площади лесов были в 5–7 раз выше, чем у нас в более благополучные годы (например, 1988 г.), и в 20–30 раз больше, чем в настоящее время (см. табл. 2). Это же можно отметить и по уходу за молодняками, гарантирующему эффект от лесовосстановительных мероприятий. Работы по лесосушению у нас практически приостановлены.

В будущем Лесном плане Архангельской области о вопросе, рассмотренном выше, придется не просто подумать, а кардинально перестроить подход к нему. Необходимо, чтобы все субъекты лесных отношений, в первую очередь государственные органы управления лесами, проявив политическую волю, серьезно взялись за лесное хозяйство и вывели его на уровень, достойный значимого положения лесов области в лесном секторе экономики России.

Поступила 22.11.11

N.A. Moiseev

Moscow State Forest University

Forests and Forest Sector of the Arkhangelsk Region: the Historical Role and Place in the Russian Forest Policy

The article deals with the history of forest development in the Arkhangelsk region, which occupies a special geopolitical position for the forest sector of Russia and its international timber trade; the article also concerns the current state of operational stocks and priority actions related to the need to radically improve reforestation and introduce a new economic mechanism to balance the interests of all main parties in the sphere of forestry.

Key words: forest sector, sustainable management and forest management, economic mechanism ensuring a balance of interests of all main parties in the sphere of forestry.

УДК 674.032.475.542

В.В. Беляев¹, Д.Н. Клевцов¹, А.И. Барабин¹, Н.А. Дружинин²

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

²Вологодская региональная лаборатория Северного НИИ лесного хозяйства

Беляев Владимир Васильевич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры географии и геоэкологии Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, чл.-корр. Петровской академии наук и искусств. Имеет 130 научных работ в области лесоведения, геоэкологии, биоразнообразия и лесовосстановления.
E-mail: beljaew29@mail.ru



Клевцов Денис Николаевич родился в 1981 г., окончил в 2004 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 15 научных работ в области биологической продуктивности культур сосны обыкновенной на Европейском Севере России.
E-mail: denis2749@yandex.ru



Барабин Александр Иванович родился в 1939 г., окончил в 1966 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ландшафтного строительства и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 85 печатных работ в области лесосеменного мониторинга древесных пород на Европейском Севере России.
Тел.: 8(8182) 21-61-56



Дружинин Николай Андреевич родился в 1945 г., окончил в 1973 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий Вологодской региональной лабораторией СевНИИЛХ, профессор кафедры лесного хозяйства ВГМХА им. Н.В. Верещагина. Имеет более 100 печатных работ по ведению лесного хозяйства в насаждениях на торфяных и минеральных почвах, экологическим вопросам.
E-mail: drujinin@mail.ru



ВЫБОР ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ УСПЕШНОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЕЛИ В СВЯЗИ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ЗАМОРОЗКОВ НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

На основании результатов 20-летних наблюдений на 28 метеорологических станциях Архангельской области установлены особенности географического распространения заморозков. По частоте и интенсивности заморозков выделено 7 групп районов (лесничеств), произведено их ранжирование в порядке возрастания опасности возникновения заморозков для каждого летнего месяца. Выделены группы районов с заморозками в июле, предложено это учитывать в процессе планирования лесовосстановительных мероприятий, особенно, при выборе площадей для создания культур ели.

Ключевые слова: заморозки, ель, культуры.

Положение Архангельской области в высоких широтах (60° 38'... 66° 26' с.ш., 35°19'...50°28' в.д.), близость полярного круга и арктических морей

накладывают свой отпечаток на климат региона. Большое влияние на его формирование оказывает активная циклоническая деятельность, с которой связано обильное выпадение осадков в течение года, оттепели зимой и понижение температуры летом. В летний период значительно количество дней с ветрами северных направлений, что в совокупности с близостью Северного Ледовитого океана вызывает похолодания и заморозки, без которых не обходится ни один месяц вегетационного периода [5].

Эти климатические особенности региона отражаются как на процессах лесовосстановления вообще, так и, в частности, на возобновлении ели, доля которой в объеме только искусственного восстановления составляет 70...80 %. Частые заморозки в период вегетации во многих случаях являются основной причиной не только медленного роста, но и гибели молодых растений ели, особенно небольших (0,5...2,0 м). При массовом обследовании культур ели, проведенном В.Б. Лариным [6], установлено, что 39,4 % растений подверглись полному обмерзанию и у 39,1 % от заморозков пострадал верхушечный побег.

Проблема защиты ели от заморозков в условиях региона настолько актуальна и важна для лесовосстановления, что без ее решения могут оказаться недостаточно эффективными все другие мелиоративные приемы, повышающие качество лесных культур: обработка почвы, внесение удобрений, проведение осушительной мелиорации и др. [3].

Представление о географии распространения и особенностях заморозков по районам (лесничествам) области хотя и не в полной мере отражает реальные температурные условия, в которых функционируют отдельные биогеоценозы, но позволяет более гибко подходить к выбору культивируемой древесной породы.

Объекты и методы

Нами проанализированы следующие параметры: средняя минимальная температура воздуха, абсолютный минимум, среднее количество дней с температурой ниже 0 °С, общая вероятность заморозков, вероятность заморозков различной интенсивности, количество дней с морозом на поверхности почвы и на высоте 2 м (июнь – август, в среднем за 3 мес.). Для анализа использовали результаты 20-летних наблюдений на 28 метеостанциях, расположенных во всех районах (лесничествах) Архангельской области.

Сильные заморозки относятся к адвективному типу. Июнь в Архангельской области – самый неблагоприятный по заморозкам месяц лета (заморозки отмечаются чаще, чем в июле и августе). На основании частоты заморозков в июне можно условно отнести лето либо к «холодному» (на метеостанциях всех районов области фиксируются заморозки), либо к «теплому» (более чем на 50 % метеостанций заморозки не отмечены). За исследованный период выделено по пять холодных и теплых летних периодов. Для выявления районов с наиболее серьезными предпосылками к возникновению заморозков и мест с более благоприятными условиями по этому климатическому показателю

телю проанализированы выше перечисленные параметры для всех районов или лесничеств (в Архангельской области лесничества территориально практически совпадают с административными районами) в годы с теплым и холодным июнем.

На основании этих данных, а также рассчитанных баллов опасности заморозков [1] проведено районирование территории Архангельской области.

Сравнением средних значений частоты и интенсивности заморозков за 3 летних месяца выделено 7 групп районов (лесничеств) с относительно однородной картиной заморозков. Поскольку именно на июнь и июль приходится основной видимый рост побегов ели, нами проведено ранжирование районов в порядке возрастания опасности возникновения заморозков по каждому из трех летних месяцев. Кроме того, на территории южной части Беломорско-Кулойского плато (Луковецкое участковое лесничество Холмогорского лесничества (северная подзона тайги)) были визуально выявлены участки, на которых культуры ели сильно повреждались заморозками. Были отмечены площади без повреждения культур. На 16 контрольных участках вырубок проведены замеры температуры воздуха минимальными термометрами (по 10 шт. на каждом участке). Для непрерывной регистрации температуры использовали недельные термографы. Температуру почвы на глубине измеряли с помощью коленчатых термометров. Во время ночных заморозков на каждом участке в трехкратной повторности измеряли температуру воздуха на поверхности почвы и на высоте 2 м. Дифференциацию участков по интенсивности и силе заморозков проводили по средним значениям минимальной температуры. Все участки имели инструментальную координатную привязку (GPS Garmin III Plus) [3].

Результаты и обсуждение

Распространение заморозков по территории области носит мозаичный характер. Характеристики заморозков соседних районов различаются по месяцам. Наиболее типичны заморозки для июня. В этом месяце они отмечаются на территории всех лесничеств как на поверхности почвы, так и в воздухе (табл. 1). Средняя продолжительность заморозков в этот период в воздухе варьирует от 0,3 (Соловецкий лесхоз) до 5,6 дн. (Мезенское лесничество), на почве – от 0,7 (Вельское лесничество) до 6,2 дн. (Мезенское лесничество). Средние температуры во время заморозков в воздухе колеблются от –0,8 (Северодвинское лесничество) до –2,7 °С (Мезенское лесничество), на почве – от –1,0 (Плесецкое лесничество) до –3,3 °С (Верхнетоемское лесничество).

В июле заморозки отмечаются не во всех лесхозах. В Мезенском лесничестве июльские заморозки возникают регулярно, особенно в воздухе (средняя температура –1,1°С). Эпизодически июльские заморозки бывают в Приозерном, Обозерском, Плесецком, Пуксоозерском, Соловецком, Карпогорском, Пинежском, Архангельском, Онежском, Выйском, Няндомском,

Таблица 1

Средние значения климатических характеристик территории Архангельской области за летний период

Лесничество	Июль		Июль		Август		Всего за лето	
	Температура, °С	Продолжительность, дн.	Температура, °С	Продолжительность, дн.	Температура, °С	Продолжительность, дн.	Температура, °С	Продолжительность, дн.
Архангельское	-1,8/-1,8	2,1/2,3	...	0,1/0,1	-1,8/-1,7	1,2/1,4	-1,7/-1,7	1,5/4,5
Мезенское	-2,7/-2,3	5,6/6,2	-1,8/...	0,9/0,3	-2,1/-1,4	2,5/2,0	-2,0/-1,7	9,1/8,4
Северодвинское	-0,8/-1,1	0,7/1,2	...	.../0,1	...	0,3/0,4	-1,1/-1,3	1,0/1,9
Холмогорское	-0,9/-2,7	1,2/3,0	...	...	-1,3/-1,9	0,3/1,0	-1,0/-2,3	1,5/4,1
Пилежское	-2,0/-2,4	3,2/4,9	...	0,1/0,1	-0,9/-2,0	1,3/2,1	-1,8/-2,1	4,7/7,1
Лелуцкое	-1,6/-2,2	2,4/4,3	...	...	-0,9/-1,4	0,5/1,0	-1,3/-1,8	2,9/5,3
Онежское	-1,0/-1,6	0,9/2,3	...	.../0,2	.../-1,4	0,5/1,6	-1,0/-1,4	1,6/4,2
Обозерское	-1,7/-2,3	1,8/3,0	...	0,1/0,3	-1,3/-1,3	1,0/1,7	-1,4/-1,7	3,0/5,0
Емецкое	-0,9/-1,8	0,9/1,8	...	...	...	0,2/0,4	-1,0/-1,5	1,1/2,3
Карпогорское	-2,1/-2,7	2,3/3,4	...	0,1/0,1	-1,8/-1,6	1,2/1,8	-1,8/-2,2	3,7/5,5
Сурское	-1,2/-2,2	2,1/1,8	...	...	-2,0/-1,6	1,0/0,9	-1,5/-1,9	3,1/2,7
Приозерное	-2,2/-2,2	2,1/2,9	...	0,2/0,2	-1,8/-1,8	1,8/2,0	-1,8/-1,9	4,1/5,1
Плесецкое	-1,5/-1,0	1,5/1,2	...	0,1/0,2	-1,3/-1,4	1,0/0,8	-1,3/-1,1	2,5/2,3
Пуксоозерское	-2,6/-2,7	2,7/2,7	...	0,1/0,3	-1,5/-2,2	1,6/1,8	-1,9/-2,2	4,5/4,9
Березниковское	-0,9/-1,5	1,5/2,4	...	...	-1,5/-1,5	0,7/1,2	-1,1/-1,5	2,2/3,6
Вайское	-2,1/-2,2	2,8/2,8	...	0,1/...	2,1/-1,8	2,1/1,6	-2,1/-2,1	4,9/4,9
Шенкурское	-0,9/-1,4	0,5/1,0	...	...	...	0,1/0,5	-0,8/-1,3	0,6/1,5
Верхнеоземское	-1,5/-3,3	1,2/1,8	...	...	-1,1/...	0,7/0,8	-1,3/-2,4	1,9/2,8
Красноборское	-1,2/-1,9	1,0/2,0	...	...	.../-1,5	0,4/0,8	1,2/-1,7	1,3/2,9
Каргопольское	-1,1/-2,6	1,0/2,5	...	...	-0,8/-1,6	0,5/1,0	-1,0/-2,1	1,5/3,5
Конюшское	-1,9/-1,9	1,7/1,6	...	.../0,1	-1,1/-1,3	1,3/1,0	-1,5/-1,5	3,0/2,7
Вельское	-1,4/-2,0	0,6/0,7	...	...	-1,2/-1,4	0,6/0,8	-1,2/-1,6	1,3/1,6
Устьинское	-1,2/-1,5	0,6/0,8	...	...	-0,7/...	0,5/0,3	-0,9/-1,0	1,1/1,2
Котласское	-1,8/-2,2	0,8/1,4	...	...	-1,4/-1,5	0,9/1,0	-1,5/-1,9	1,7/2,4
Яренское	-1,5/-1,5	1,3/1,5	...	...	-1,4/...	1,1/1,1	-1,4/-1,5	2,4/2,6
Вилегодское	-1,8/-2,5	1,3/2,1	...	0,1/...	-1,7/-1,7	0,8/1,6	-1,7/-1,9	2,1/3,9
Соловецкое	-0,7/-1,1	0,3/1,9	...	0,1/0,2	.../-1,3	.../0,6	-0,6/-1,2	0,5/2,7

Примечание. В числителе приведены данные, полученные на высоте 2 м, в знаменателе – на почве.

Коношском и Вилегодском лесничествах. Обращают на себя внимание различия в абсолютных минимумах температуры при заморозках. Так, в Обозерском лесничестве температура на почве может опускаться до $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Мезенском, Приозерном, Плесецком, Онежском и Соловецком лесничествах – до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1986 г.).

Обычно заморозки в августе случаются реже, чем в июне. Средняя продолжительность их в приземном слое воздуха колеблется от 0,1 (Шенкурское лесничество) до 2,5 дн. (Мезенское лесничество). Средняя температура заморозков в воздухе изменяется от $-0,7$ (Устьянское лесничество) до $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Мезенское лесничество).

Выявлена большая изменчивость количества заморозков по годам. В отдельные годы заморозков на большей части территории области не отмечено, были годы с единичными (1989 г., 1990 г.) и относительно продолжительными (1969 г., 1982 г. до 17 дн. в июне, Пинежское лесничество) заморозками.

Самые низкие температуры отмечены в августе 1980 г. (Пинежское лесничество: $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воздухе, $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на почве; Пуксоозерское лесничество: $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в воздухе, $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ на почве).

Сравнивая все характеристики заморозков в лесничествах Архангельской области, можно выделить 7 районов с относительно однородной картиной [2]. Вычленив лесничества в группы, совершенно однородные как по частоте, так и по интенсивности заморозков, практически невозможно. К объединяющим характеристикам можно отнести общую вероятность заморозков и вероятность заморозков различной интенсивности. Однако даже в пределах выделенных районов отмечены заметные различия в параметрах. Если проанализировать географическое положение, то можно отметить, что это районы с более теплым климатом, расположенные в центральной и южной частях области по берегам рек Северная Двина, Вага и Устья. По очертаниям выделенная зона напоминает треугольник с основанием, обращенным на юг. Возможно, это связано с обогревающим влиянием крупных рек [4].

Отметим, что в некоторых лесничествах при относительно небольшой частоте возникновения заморозков высок процент сильных и очень сильных заморозков.

Исследования показали, что территория каждого отдельно взятого лесничества неодинаково подвержена заморозкам в летние месяцы. Поэтому важное значение имеет ранжирование территорий лесхозов по возрастанию опасности возникновения заморозков в каждый из летних месяцев.

Ранжирование проведено на основании сопоставления общей вероятности заморозков и вероятности заморозков различной интенсивности и частоты (табл. 2). Опасность заморозков устанавливали по методике [2].

Таблица 2

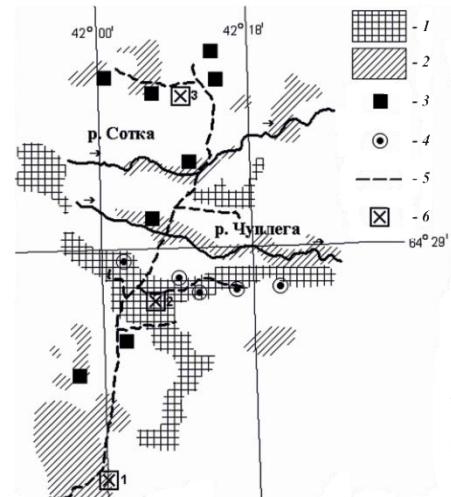
Ранжирование территорий лесничеств по возрастанию опасности заморозков

Июнь	Опасность заморозков, балл	Июль	Опасность заморозков, балл	Август	Опасность заморозков, балл
Северодвинское	23	Северодвинское	2	Шенкурское	9
Шенкурское	25	Няндомское	2	Соловецкое	10
Соловецкое	30	Коношское	2	Устьянское	14
Устьянское	32	Вилегодское	2	Лешуконское	19
Вельское	33	Онежское	2	Емецкое	20
Емецкое	36	Выйское	3	Няндомское	21
Плесецкое	39	Архангельское	4	Верхнетоемское	21
Березниковское	47	Пинежское	4	Коношское	23
Каргопольское	48	Карпогорское	4	Красноборское	23
Красноборское	49	Соловецкое	4	Северодвинское	24
Коношское	50	Плесецкое	4	Каргопольское	24
Онежское	51	Приозерное	6	Холмогорское	24
Яренское	51	Пуксоозерское	6	Вельское	26
Котласское	51	Обозерское	19	Онежское	31
Холмогорское	51	Мезенское	26	Березниковское	33
Няндомское	52			Котласское	34
Сурское	52			Плесецкое	35
Вилегодское	59			Сурское	38
Верхнетоемское	62			Обозерское	38
Обозерское	64			Яренское	39
Архангельское	67			Архангельское	41
Пуксоозерское	67			Пуксоозерское	42
Приозерное	68			Карпогорское	44
Лешуконское	71			Вилегодское	46
Выйское	75			Пинежское	46
Карпогорское	77			Приозерное	51
Пинежское	85			Выйское	53
Мезенское	102			Мезенское	63

На рисунке показана часть территории Луковецкого лесничества (юг Бело-морско-Кулойского плато), характеризующая микроклиматические особенности на вырубках во время весенне-летних ночных радиационных заморозков.

Анализ материалов осуществлялся в ГИС-пакете MapInfo 6.5 и показал, что участки культур, менее подверженные влиянию заморозков, расположены в зонах с повышенным уровнем конвективного теплового потока (КТП) Земли (до 30...50 Вт/м²). На этих же территориях расположены культуры ели, для которых характерен более интенсивный рост.

Схема сопоставления материалов: 1 – территории с высоким уровнем КТП, 2 – с низким уровнем КТП, 3 – холодные участки вырубок, 4 – теплые участки вырубок, 5 – технологическая дорога, 6 – культуры ели, номера участков



На основании сказанного выше можно предположить, что формирование наименее подверженных заморозкам таежных территорий и, как следствие, меньшая повреждаемость культур ели заморозками в вегетационный период обусловлены аномалиями КТП высокой интенсивности.

Заключение

Анализ особенностей расположения различных групп районов Архангельской области с относительно однородными характеристиками заморозков выявил ряд факторов, влияющих на вероятность заморозков в них. В первую очередь, это их расположение вблизи крупных водных объектов.

Наиболее теплые районы находятся либо в междуречье Северной Двины – Ваги, либо в среднем течении Северной Двины, либо на наветренных берегах Белого моря (относительно преобладающих направлений ветров). Крупная водная система оказывает обогревающее воздействие, в результате чего увеличивается продолжительность безморозного периода, сокращается частота и интенсивность заморозков [4]. Районы верховья Северной Двины находятся под влиянием возрастающей в юго-восточном направлении континентальности климата, в результате чего частота и интенсивность заморозков возрастают (так как увеличивается сухость воздуха и суточная амплитуда температур), а обогревающее влияние крупных рек нивелируется. Районы, находящиеся в нижнем течении рек Северная Двина, Онега и Мезень, расположены севернее, поэтому действие холодных воздушных масс несколько перекрывает обогревающее воздействие рек. Влияние рек (озер) зависит от их размеров. Чем они шире (больше их площадь), тем на большее расстояние от берега распространяется их обогревающее действие. Так, районы, находящиеся на берегах нешироких рек (р. Пинега), не испытывают заметного обогревающего влияния, оно сказывается только в прибрежной зоне. Возрастает обогревающее воздействие рек в местах их слияния с притоками и в местах впадения в море, озеро. На вероятность заморозков в Северодвинском и Соловецком лесхозах влияет

их расположение на наветренном берегу Двинской губы Белого моря и островное положение (соответственно). Воздушные массы с северо-востока, контактируя с водной поверхностью, становятся более теплыми и влажными. Другие районы побережья Белого моря находятся на подветренных берегах, поэтому море не оказывает на них существенного обогревающего воздействия.

Большое влияние на вероятность заморозков имеет и рельеф. Так, в понижениях между холмами и грядами происходит застой холодного воздуха и его подток со склонов. При этом образуются своеобразные «коридоры», по которым поступает холодный воздух. Подобные условия характерны для Приозерного лесхоза, расположенного в западной части области. Холмы и гряды в восточных и северо-восточных частях лесхозов (районов), имеющие высоты более 200 м, несколько сдерживают продвижение холодных арктических воздушных масс. В то же время у подветренных склонов холодный воздух застаивается, из-за чего там увеличивается вероятность заморозков.

Полученные результаты исследований целесообразно использовать при лесовосстановлении, например, планируя создание культур ели в более благоприятных по характеристикам заморозков лесхозах области (1–4 группы).

На основании проведенных нами исследований можно сделать следующие выводы.

Выявление наиболее предпочтительных площадей лесокультурного фонда для выращивания ели должно складываться из нескольких уровней. Прежде всего это выявление наименее подверженных заморозкам площадей (лесничеств) на территории административной единицы. А уже в пределах этих более благоприятных районов следует применять другие мероприятия, снижающие влияние заморозков на культуры ели. Например, выбор территорий с повышенным тепловым потоком; выращивание ели под защитой полога других древесных пород (создание разновозрастных культур ели или разновозрастных сосново-еловых культур), в которых ряды деревьев ели более старшего возраста или более крупные деревья сосны выполняют функцию защиты от заморозков; создание культур ели на вырубках, возобновившихся лиственными породами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.В., Бурлаков П.С.* Особенности распространения заморозков и их влияние на культуры ели на территории Европейского Севера//Вест. Помор. гос. ун-та. Сер.: Естеств. и точ. науки. 2007. № 2(12). С. 54–61
2. *Беляев В.В., Потапов И.А.* Заморозки и их изучение. Архангельск: Изд-во ПГУ, 2003. 100 с.
3. *Беляев В.В.* Эколого-лесоводственные основы повышения эффективности искусственного лесовосстановления на Европейском Севере: автореф. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1997. 45 с.
4. *Гольцберг И.А.* Агроклиматическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 217 с.

5. *Изотов В.Ф.* Изменения условий среды в связи с вырубкой леса // Рубки и восстановление леса на Севере. Архангельск: Сев-Зап. кн. изд-во, 1968. С. 225–237.

6. *Ларин В.Б.* Естественное и искусственное лесовозобновление на концентрированных вырубках северо-востока европейской части СССР. Экология роста и развития сосны и ели на северо-востоке европейской части СССР//Тр. Коми филиала АН СССР. № 44. Сыктывкар, 1979. С. 5–23.

Поступила 11.01.10

V.V. Belyaev¹, D.N. Klevtsov¹, A.I. Barabin¹, N.A. Druzhinin²

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

²Head of the Vologda regional laboratory of the Northern Research Institute of Forestry

Selection of Areas for Successful Reproduction of the Spruce to Distribution of Frosts in the Arkhangelsk Region

The analysis of observations of 28 weather stations in the Arkhangelsk region for the 20-years' period has allowed to determine peculiarities of geographical distribution of frost. According to the frequency and intensity of frost 7 groups of districts (forestries) has been singled out. The districts have been arranged in order of increasing risk of frost for each summer month separately. There have been identified groups of districts having frost in July and territories where it has not been recorded. The regularities obtained should be considered when planning reforestation and especially when choosing areas for spruce cultures.

Key words: frost, minimum temperatures, climate, reforestation.

УДК 631.54

Н.А. Мингалева¹, С.В. Пестов², С.В. Загирова²

¹Сыктывкарский государственный университет

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

Мингалева Нина Анатольевна окончила в 2006 г. Сыктывкарский государственный университет, ассистент химико-биологического факультета Сыктывкарского государственного университета. Имеет 7 печатных работ в области урбоэкологии и ГИС-технологий.
E-mail: mingaleva_n.a@mail.ru



Пестов Сергей Васильевич родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Вятский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 35 печатных работ в области изучения консортивных связей насекомых с растениями в естественных и антропогенных условиях Севера, фауны и экологии двукрылых Европейского Северо-Востока России.
E-mail: pestov@ib.komisc.ru



Загирова Светлана Витальевна окончила в 1982 г. Сыктывкарский государственный университет, доктор биологических наук, зав. отделом Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Имеет более 60 печатных работ в области лесной экологии, экологической физиологии.
E-mail: zagirova@ib.komisc.ru



ЖИЗНЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И БИОПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИСТЬЕВ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ В ЗЕЛЕНых НАСАЖДЕНИЯХ ГОРОДА СЫКТЫВКАРА

Изучено жизненное состояние шести видов древесных растений-интродуцентов зеленых насаждений г. Сыктывкара. Установлена высокая повреждаемость листьев боярышника и липы фитопатогенными организмами и устойчивость к их воздействию у сирени и аронии. Показано, что в условиях аэротехногенного загрязнения повышается активность сосущих насекомых и снижается частота встречаемости минеров и галлообразователей. Впервые для Республики Коми выявлено девять видов членистоногих, обитающих в урбанизированной среде.

Ключевые слова: зеленые насаждения, интродукция, жизненное состояние, биоповреждения.

В урбанизированной среде зеленые насаждения, выполняющие санитарно-гигиенические и психофизиологические функции, подвергаются действию целого комплекса неблагоприятных факторов. Показателем успешности интродукции растений в городах является их жизненное состояние, которое во многом зависит от степени их повреждения вредителями и болезнями. Растения-интродуценты в первую очередь подвергаются воздействию неспециализированных местных фитопатогенных организмов. Чем ближе

интродуцированные растения по систематическому положению или химическому составу к видам адвентивной флоры, тем быстрее вредители приспосабливаются к ним [21]. Интродукция древесных растений приводит к изменению видового состава и численности вредителей и возбудителей болезней в городских насаждениях. Переместившись с растением-хозяином на новую территорию, вредители могут проявлять себя не сразу, а лишь через некоторое время. При отсутствии конкурентов они способны стремительно внедряться в сложившиеся биоценозы, вызывая в них нежелательные экономические и экологические последствия [7, 20]. Видовой состав и экология болезней и вредителей интродуцированных деревьев и кустарников изучены в Архангельской области [2, 6], Санкт-Петербурге [1, 10]. В г. Сыктывкаре ранее проводилась оценка энтомо-фитопатологического состояния адвентивных пород деревьев березы, ольхи, осины и ивы [9, 11, 12]. Сведения о вредителях и болезнях интродуцированных пород в Республике Коми отсутствуют. Цель настоящей работы состояла в оценке жизненного состояния и биоповреждений древесных растений, интродуцированных в г. Сыктывкаре.

Материалы и методы

Сыктывкар расположен на северо-востоке Европейского Севера России. Климат умеренно континентальный с продолжительной, довольно суровой зимой и коротким, сравнительно теплым летом. Средняя температура января – 15 °С, июля +17 °С, в год выпадает около 650 мм осадков. Основными источниками загрязнения воздуха в городе являются транспорт, предприятия лесопереработки и стройиндустрии. Уровень загрязнения воздуха высокий, отмечено повышенное содержание таких специфических примесей, как формальдегид и бенз(а)пирен [3]. Площадь зеленых насаждений вместе с защитным кольцом из лесных массивов вокруг города и лесопарковой зоны составляет менее 3924 га, что в расчете на одного городского жителя соответствует 30...35 % от требуемой нормы [18].

Материал был собран нами за 2007–2009 гг. в зонах застроек и интенсивного движения транспорта в центральной части города. Общая площадь обследованной территории составляет около 300 га. Проведен сплошной пересчет деревьев и кустарников с использованием методов дендрометрической и биоэкологической оценки. При дендрометрической оценке фиксировали порядковый номер растения в соответствии с планом инвентаризации, видовое название, диаметр ствола, высоту растения. Биологическая оценка включала определение категории жизненного состояния деревьев и кустарников по общепринятой методике [8]. Были выделены следующие категории состояния деревьев: хорошее – 1 балл, удовлетворительное – 2 балла, неудовлетворительное – 3 балла. Кроме того, отмечали такие особенности растений, как раздвоенность стволов, морозобоины, дупла, различные механические повреждения, в том числе обрезка.

Для оценки поврежденности листьев вредителями и болезнями на исследованной территории было заложено 17 участков, на каждом из которых

произведен осмотр древесно-кустарниковой растительности, отобрано по 10 листьев с нижней части кроны десяти деревьев. В данной работе приведены результаты обследования семи видов древесных растений, интродуцированных в зеленых насаждениях г. Сыктывкара: *Caragana arborescens* Lam. (карагана древовидная), *Crataegus sanguinea* Pall. (боярышник кроваво-красный), *Syringia* sp. (сирень), *Populus balsamifera* L. (тополь бальзамический), *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott (арония черноплодная), *Tilia cordata* Mill. (липа сердцевидная, или мелколистная), *Malus domestica* Borkh. (яблоня). Поврежденность листьев оценивали в одни и те же сроки, в начале августа 2008 и 2009 гг.. Для видовой диагностики вредителей использовали руководства [4, 14, 17]. Собранных насекомых помещали в морилку для дальнейшей идентификации.

На основе полученных результатов были рассчитаны индексы видового богатства и доминирования, которые широко используются при описании сообществ животных. На основе полученных результатов был рассчитан индекс Шеннона:

$$\bar{H} = -\sum P_i \log P_i, \quad (1)$$

где P_i – степень повреждения i -м типом повреждений, выраженная в долях от единицы.

Число повреждений на лист определено по формуле

$$U_i = \frac{\sum t_i}{T_i}, \quad (2)$$

где t_i – число листьев в выборке, имеющих i -й тип повреждения;

T_i – общее число листьев в выборке.

Коэффициент состояния насаждений был вычислен по методике [20]:

$$K_j = \frac{\sum b_i}{N_j}, \quad (3)$$

где b_i – балл состояния отдельных деревьев;

N_j – общее число учтенных деревьев.

Полученные материалы проанализированы с помощью программы Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

По литературным данным [18], в озеленении г. Сыктывкара используется 103 вида деревьев и кустарников, из которых 60 % являются интродуцентами. Это несколько ниже, чем в других городах Европейского Севера России: в Архангельске – 68 [16], в Петрозаводске – 74 [5], в Пскове – 70 % [15].

Исследованные нами интродуцированные древесные растения относятся к деревьям (липа, яблоня), кустарникам высотой 4...6 (карагана, боярышник, сирень) и 2...4 м (арония). Наиболее хорошее жизненное состояние отмечено у сирени и яблони (табл. 1).

Таблица 1

Биологическая характеристика некоторых интродуцированных пород деревьев г. Сыктывкара

Порода	Число обследованных деревьев, экз.	Густота посадок, экз./га	Диаметр ствола, см	Высота, м	Доля деревьев с обрезкой, %	Распределение деревьев по жизненному состоянию, %		Средний балл состояния K_j
						удовлетворительное	неудовлетворительное	
Арония	300	1,0	–	3,1	77	13	87	1,87
Боярышник	640	2,3	7,1	3,0	46	34	45	1,87
Карагана	1105	3,9	3,4	3,6	42	45	52	1,58
Липа	150	0,5	14,5	14,6	2	32	51	1,85
Сирень	371	1,3	4,2	5,0	8	73	20	1,34
Яблоня	82	0,3	11,8	5,4	4	83	13	1,21
Тополь	4957	17,6	32,1	22,0	32	57	35	1,57

Более 50 % учтенных экземпляров аронии и караганы имели удовлетворительное состояние. Самой высокой долей повреждений (21 %) характеризовался боярышник, у которого часто встречались некрозы, пигментация, скручивание листьев и искривление ствола. Арония (77 %), боярышник (46 %) и карагана (42 %) подвергались сильной обрезке, что могло повлиять на устойчивость этих видов в условиях города. Взрослые деревья липы имели морозобойные трещины в стволе, высокий процент сухих листьев и ветвей в кроне, их жизненное состояние в целом было значительно ниже, чем у яблони.

По шкале состояния древостоя [20] насаждения исследованных интродуцированных древесно-кустарниковых пород можно отнести к двум категориям: здоровый древостой при $K_j < 1,5$ (сирень и яблоня) и ослабленный древостой $K_j = 1,6 \dots 2,5$ (арония, боярышник карагана, липа, тополь).

Видовой состав организмов, поражающих листья интродуцированных древесных растений на территории Республики Коми, до этого не исследовался. В ходе проведенных ранее исследований на листьях интродуцированных древесных растений в Архангельске [6] обнаружено 22 вида болезней и вредителей, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области [9] на ясене – 4 вида филофагов, на сирени – 1, на клене Гиннала и остролистном – 6.

По нашим данным на обследованных интродуцированных древесных растениях определено 20 видов вредителей, что более чем в 3 раза меньше по сравнению с аборигенными породами, на которых было отмечено 63 вида. Наиболее часто встречаются сосущие насекомые (табл. 2).

Тли отмечены на карагане (*Acyrtosiphon caraganae* Cholod.), сирени (*Prociphillus* sp.), боярышнике (*Ovatus crataegarius* Walker), липе (*Eucallipterus tiliae* L.) и тополе (*Chaitophorus* sp.). Помимо тлей на листьях были обнаружены клопы-щитники: *Picromerus bidens* L. на карагане и *Elasmostethus interstinctus* L. на боярышнике.

Таблица 2

Степень повреждения листьев, %, интродуцированных древесных растений г. Сыктывкара в 2008-2009 гг.

Группа повреждений	Арония		Боярышник		Карагана		Липа		Сирень		Тополь		Яблоня	
	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.	2008 г.	2009 г.
Галлицы	-	-	-	-	-	-	2,7±2,7	-	-	-	-	-	-	-
Галловые клещики	-	-	-	-	-	-	34,7±8,7	6,0±2,3	-	-	-	0,4±0,2	-	-
Равнокрылые-галлообразователи	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,1±1,0	-	-
Минирующие мушки	-	-	-	-	14,8±3,0	51,0±6,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Чешуехвальные-минеры	5,7±3,7	-	-	-	-	-	-	-	7,7±2,0	0,8±0,6	0,3±0,2	1,0±1,0	-	-
Грубое объедание	5,7±3,0	-	2,8±1,5	3,3±1,0	0,5±0,3	-	3,3±1,3	5,0±1,5	0,8±0,8	2,3±1,3	1,9±0,5	-	-	-
Крайевые погрызы	25,7±7,8	-	14,4±3,2	31,6±5,9	6,5±1,4	9,0±1,7	12,0±3,0	85,0±5,6	5,4±2,4	10,3±2,8	18,5±2,9	10,0±3,7	-	-
Скелетирование	-	-	-	1,0±0,5	-	4,2±1,9	1,3±0,9	1,5±0,8	-	-	51,5±5,7	-	-	-
Дырчатые погрызы	4,3±3,0	-	8,8±2,6	29,5±6,9	0,3±0,3	5,8±1,6	6,0±2,1	35,5±6,2	3,1±1,3	19,1±0,4	13,2±2,0	42,0±7,9	-	-
Паутинные гнезда	2,9±1,8	-	-	0,2±0,1	-	-	-	-	-	-	-	1,0±1,0	-	-
Свертывание листьев	18,6±5,5	-	0,4±0,4	-	-	0,1±0,1	-	-	6,9±2,1	1,1±0,9	0,1±0,1	-	-	-
Сосушье насекомые	-	-	56,0±5,9	23,4±6,9	76,5±4,7	31,1±10,2	98,0±1,4	100,0	39,2±1,0	0,7±0,7	7,6±2,3	16,0±5,4	-	-
Пятнистости	-	-	21,6±6,0	50,8±10,1	-	10,6±5,6	-	-	-	-	-	62,1±8,1	-	55,0±11,9
Ржавчины	-	-	-	1,0±1,0	-	0,8±0,5	-	-	-	-	-	36,5±7,5	-	-
Мучнистая роса	-	-	13,6±4,3	3,1±3,1	69,3±7,0	33,3±11,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Индекс Шеннона	1,23	1,54	1,91	1,91	0,96	1,87	1,08	0,89	1,05	0,76	2,05	1,31	1,31	1,25
Число повреждений на лист	0,63	1,18	1,51	1,51	1,68	1,46	1,58	2,33	0,63	0,34	1,97	1,25	1,25	1,25

На листьях многих растений, пораженных тлями, были обнаружены хищные насекомые: божьи коровки *Adalia bipunctata* L., сетчатокрылые *Chrysopa perla* L. и *Hemerobius* sp. Встречались они преимущественно в районах со слабой антропогенной нагрузкой, в скверах внутри квартальной застройки. В отдельную группу повреждений выделены равнокрылые-галлообразователи. В отличие от других групп галлы, образуемые равнокрылыми, открытые, т.е. эта группа вредителей является эволюционно более молодой. Галлы на боярышнике образуют тли *Prociphilus crataegi* Tullr., на тополе – пемфиг *Pemphigus populi* Courchet.

Настоящие закрытые галлы формируют галловый клещик *Aceria varia* Nal. на тополе, галловые клещики *Eriophyes tiliae* Pag., *E. leiosoma* Nal. и галлица *Dasyneura tiliamvolvans* Rubs., развивающиеся на липе. Минеры выедают только паренхимные ткани листа. В насаждениях караганы древовидной встречается минирующая мушка *Liriomyza congesta* Beck., на сирени – минирующая моль *Gracillaria syringella* F.

Велико значение листогрызущих насекомых. Повреждения, вызываемые ими, разделены на четыре группы [4]. Скелетирование (выедаются только ткани между жилками) и дырчатые погрызы образуют преимущественно жесткокрылые из семейств листоеды (*Chrysomelidae*) и долгоносики (*Curculionidae*). Грубое объедание и краевые погрызы делают гусеницы чешуекрылых, большая часть приходится на семейства пядениц (*Tortricidae*) и совок (*Noctuidae*). Повреждение относили к типу грубого объедания в случае, если изъято более половины листовой поверхности. Среди листогрызущих насекомых на тополе наиболее обычными были гусеницы совки *Acronicta megacephala* Den. et Schiff. Этот вид был отмечен ранее для фауны Республики Коми только в подзоне южной тайги [13]. Помимо тополя, личинки этого вида могут питаться на ольхе, иве и березе. Скелетирование листьев производит листоед *Phratora vitellinae* L. Кроме тополя и осины, этот вид может развиваться на иве.

Из фитопатогенных грибов часто встречались ржавчины *Melampsora pinitorqua* Rostr. на тополе и *Gymnosporangium clavariaeformae* (Jacq.) DC на боярышнике, мучнистая роса *Microsphaera penicillata* Lev. на боярышнике и *M. palzcewski* Jacz на карагане.

Из обследованных нами интродуцированных видов растений высокая устойчивость к вредителям и болезням отмечена у сирени и аронии. Сильно повреждаются вредителями липа, тополь и боярышник. Наибольшим разнообразием (индекс Шеннона) отличаются повреждения на аронии и боярышнике. Исходя из числа поражений на лист, можно сделать вывод, что наиболее полное освоение потенциальных этологических ниш свойственно сообществам вредителей липы караганы и липы. Наименьшие значения этого показателя у аронии и сирени, что может свидетельствовать о недоиспользовании кормовых ресурсов членистоногими и фитопатогенными грибами.

Выводы

На обследованных участках г. Сыктывкара в составе древесной растительности из интродуцентов наиболее часто встречаются карагана и

боярышник. Установлено хорошее жизненное состояние сирени и высокая повреждаемость боярышника и липы фитопатогенными организмами. В условиях техногенной нагрузки повышается активность сосущих насекомых и снижается частота повреждений листьев минерами и галлообразователями. В Сыктывкаре было определено 20 видов вредителей листовой интродуцированных древесных растений, из них впервые для Республики Коми выявлено 9 видов членистоногих: *Prociphilus crataegi*, *Pemphigus populi*, *Ovatus crataegarius*, *Acyrtosiphon caraganae*, *Eriophyes tiliae*, *E. leiosoma*, *Dasyneura tiliamvolvans*, *Liriomyza congesta*, *Gracillaria syringella*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басова С.В., Минкевич И.И. Скорость инфекции как показатель развития пифитотий листовой ржавчины тополей различных систематических групп // Экология и защита леса. 1984. С. 92–98.
2. Бурак С.В., Ежов О.Н. Болезни и вредители зеленых насаждений города Архангельска // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы XVI молодеж. науч. конф. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2009. С. 38–40
3. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2007 г. / Мин-ство природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар, 2008. 152 с.
4. Гусев В.И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 472 с.
5. Егличева А.В. Древесные растения в городских экосистемах Карелии: автореф. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 18 с.
6. Ежов О.Н. Вредители и болезни городских зеленых насаждений Архангельского промышленного узла // Лесн. журн. 2008. № 3. С. 45–50. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Ижевский С.С. Инвазия чужеземных насекомых – угроза экологической и экономической безопасности России // АгроXXI. 2008. № 4–6. С. 34–36.
8. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений / Минстрой России. Академия коммунального хоз-ва им. К.Д. Памфилова. М., 1997. 24 с.
9. Мингалеева Н.А., Пестов С.В. Биоповреждения листьев осины (*Populus tremula* L.) и ивы (*Salix* sp.) в зеленых насаждениях г. Сыктывкара // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы XVI молодеж. науч. конф. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2009. С. 131–132.
10. Мусолин Д.Л. Членистоногие-филлофаги Ленинграда и Ленинградской области // Экология и защита леса. Л., 1989. С. 74–76.
11. Пестов С.В., Мингалеева Н.А., Загирова С.В. Биоповреждения листьев березы (*Betula* sp.) в зеленых насаждениях города Сыктывкара // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: материалы всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2008. Вып. VI, Ч. 2. С. 132–135.
12. Посттехногенные экосистемы Севера. СПб.: Наука, 2002. 159 с.
13. Свиридов А.В., Седых К.Ф. Совки (*Lepidoptera*, *Noctuidae*) Республики Коми // Русск. энтомол. журн. 2005. Т. 14, вып. 4. С. 329–345.
14. Соколова Э.С., Галасьева Т.В. Инфекционные болезни листьев древесных растений. М.: Изд-во МГУЛ, 2005. 42 с.

15. Соколова И.Г. Деревья и кустарники города Пскова // Ботан. журн. 2003. Т. 88, № 11. С. 79–86.
16. Феклистов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды города Архангельска. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 112 с.
17. Черемисинов А.Н., Негруцкий С.Ф., Лешковцева И.И. Грибы и грибные болезни деревьев и кустарников. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 392 с.
18. Шушпанникова Г.С., Орловская Н.В., Першина Н.Г. Роль ботанического сада Сыктывкарского государственного университета в решении проблемы озеленения // Вопросы изучения, охраны и мобилизации полезных растений в ботанических садах города Сыктывкара: сб. науч. ст. Сыктывкар: Изд-во Сыктывкарского гос. ун-та, 2007. С. 14–32.
19. Экология родного края / Под ред. Т.Я. Ашихминой. Киров: Вятка, 1996. 720 с.
20. Hrubík P. Alien insects pests on introduced woody plants in Slovakia // Acta Entomologica Serbica. 2007. 12 (1). P. 81–85.
21. Lieutier F. Changing forest communities: role of tree resistance to insects in insects invasion and tree introduction // Invasive Forest Insects, Introduced Forest Trees and Altered Ecosystems Ecological Pest Management in Global Forests of a Changing World. Dordrecht: Springer, 2008. P. 15–51.

Поступила 26.08.09

N.A. Mingalyova¹, S.V. Pestov², S.V. Zagirova²

¹Syktvykar State University

²Institute of Biology, Komi Research Center, Ural Division of RAS

Life Status and Foliage Biological Impairment of Alien Trees and Brushwood in the Green Zones of the City of Syktvykar

The life status of six species of alien trees and brushwood in the Syktvykar green areas has been studied. High foliage fault probability of Hawthorn (*Crataegus*) and Linden (*Tilia*) caused by the plant pathogenic organisms is ascertained. Contrary, the Lilac (*Syringa vulgaris*) and Chokeberry (*Aronia*) found to be resistant. Nine species of arthropods have been showed up for the first time in the Komi Republic.

Key words: green zones, introduction, life status, biological impairment.

УДК 581.1:635.054

О.Л. Цандекова

Институт экологии человека СО РАН

Цандекова Оксана Леонидовна родилась в 1970 г., окончила в 1993 г. Кемеровский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека СО РАН. Имеет более 20 печатных работ в области биоэкологической оценки окружающей среды методами биоиндикации.
E-mail: biomonitring@bk.ru.



ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА

Изучены фенологические особенности древесных растений на перекрестках г. Кемерово. Выявлено, что высокая транспортная нагрузка на перекрестках города приводит к ускорению прохождения основных фенологических фаз (цветение, окраска листьев, начало листопада) и сокращению продолжительности вегетации. Установлено, что наибольшую чувствительность к условиям локального загрязнения проявила рябина сибирская, которую предложено использовать в качестве индикатора загрязнения окружающей среды выбросами автотранспорта.

Ключевые слова: фенологические фазы развития, древесные растения, выбросы автотранспорта, загрязняющие вещества, перекрестки города Кемерово.

На загрязнение атмосферы г. Кемерово существенную нагрузку оказывает увеличение численности автомобильного транспорта. В выхлопных газах автотранспорта содержится более 200 химических соединений, обладающих токсическим действием. Основными загрязняющими веществами, выбрасываемыми автотранспортом, считаются оксиды углерода, азота, серы, углеводорода, сажа и соединения свинца. Кроме того, в выбросах автотранспорта содержатся альдегиды (акромин и формальдегид), являющиеся весьма токсичными веществами, а также канцерогенные полициклические ароматические углеводороды, основным представителем которых является бенз(а)пирен. Наибольшая доля загрязнения воздуха и почв от автотранспортных потоков приходится на автомагистрали и перекрестки города [1, 6].

Под действием выбросов автотранспорта у древесных растений появляются некрозы на листьях, наблюдается ускорение усыхания нижних ветвей. В связи с этим древесные растения имеют пониженную декоративность и не выполняют экологических функций, отмечается нарушение феноритмов роста и развития растений, а также сокращаются сроки их жизни [5, 7]. К важнейшим фенологическим фазам в сезонном развитии древесных растений относятся вегетация; начало и конец цветения; созревание плодов, семян;

появление окраски листьев; опадение листьев [2, 8]. Фенологические наблюдения помогают изучить приспособления древесных растений к данным условиям обитания и оценить возможность использования их в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды в городе. Необходимо выявление наиболее устойчивых к загрязнению видов древесных растений, которые могут быть рекомендованы для озеленения в различных экологических зонах.

Цель наших исследований – изучение фенологических особенностей древесных видов растений в условиях действия выбросов автотранспорта и возможности их использования в качестве диагностического признака состояния растений в городской среде.

В задачу исследований входило изучение фенологических особенностей древесных растений в условиях загрязнения выбросами автотранспорта; выявление зависимости между фенологическими показателями и концентрацией загрязняющих веществ (среднегодовых и максимальных разовых) в исследуемых точках (на перекрестках) города.

Объекты и методы исследований

Исследования проводили в вегетационный период 2007–2009 гг. Объектами исследований служили произрастающие в непосредственной близости от перекрестков г. Кемерово древесные растения – рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.). Рябина сибирская произрастает вблизи перекрестков пр. Октябрьский – ул. Терешковой и пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев, береза повислая – пр. Октябрьский – ул. Терешковой и пр. Химиков – ул. Тухачевского, сирень обыкновенная – пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская. Контрольные площадки располагались в жилом квартале наименее загрязненного Ленинского района.

Средний возраст древесных растений соответствовал среднему генеративному состоянию (g^2) [10]. Для фенологической оценки древесных видов в условиях города были отобраны основные фенофазы: $Пб^2$ – появление зеленого конуса листьев на конце почки; $Ос^1$ – появление окраски листьев; $Ол^1$ – начало осеннего листопада; $Цв^2$ – начало цветения (появление первых раскрывшихся цветков или соцветий); $Цв^5$ – конец цветения; $Пл^3$ – наличие плодов. Эти фенофазы позволяют также определять продолжительность вегетации ($Ол^1$ – $Пб^2$) и цветения ($Цв^2$ – $Цв^5$) [3, 9]. Опыты проведены в 3-кратной повторности, математическая обработка экспериментальных данных – с использованием компьютерной программы Statistica 6,0.

Результаты и их обсуждение

Для выявления степени загрязнения перекрестков выбросами автотранспорта А.А. Быковым [3] осуществлено моделирование среднегодового и максимально разового загрязнения атмосферного воздуха на основе данных инвентаризации выбросов и климатического распределения метеопараметров.

На основании данных моделирования рассчитан комплексный показатель (КП) загрязнения атмосферы:

$$\text{КП} = C_1/\text{ПДК}_{C1} + C_2/\text{ПДК}_{C2} + \dots + C_n/\text{ПДК}_{Cn},$$

где C – среднегодовая концентрация;

ПДК_C – соответствующая среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК).

Индексы 1, 2, 3, ..., n – соответственно относятся к свинцу, диоксиду азота, диоксиду серы, оксиду углерода, бенз(а)пирену, саже и бензину.

По КП суммарного среднегодового загрязнения атмосферы перекрестки города можно распределить в следующем порядке: пр. Химиков – ул. Тухачевского (КП = 4) < пр. Октябрьский – ул. Терешковой (КП = 6) < пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская (КП = 7) < пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев (КП = 10). Как показали расчеты, наиболее загрязнен перекресток пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев.

Данные моделирования среднегодовых и максимально разовых концентраций загрязняющих веществ на исследуемых перекрестках г. Кемерово приведены в табл. 1. Как показывают данные таблицы, на исследуемых перекрестках максимальное превышение ПДК отмечено по свинцу, диоксиду азота, оксиду углерода и бенз(а)пирену. Наиболее существенное превышение среднегодовых и максимально разовых концентраций загрязняющих веществ выявлено на перекрестках пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская и пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев, особенно по свинцу, диоксиду азота и оксиду углерода.

Таблица 1

**Концентрации загрязняющих веществ* (в долях ПДК)
на исследуемых перекрестках**

Перекресток	Pb	NO ₂	SO ₂	CO	Бенз(а)-пирен	Сажа	Бензин	КП**
пр. Октябрьский – ул. Терешковой	0,40	3,04	0,66	0,57	0,62	0,12	0,15	6
	5,53	4,15	0,33	6,26	1,85	0,37	0,72	
пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев	0,56	5,66	0,89	0,88	1,02	0,16	0,23	10
	5,77	12,04	0,31	7,49	2,20	0,43	0,95	
пр. Химиков – ул. Тухачевского	0,30	1,79	0,43	0,31	0,57	0,10	0,08	4
	1,71	5,97	0,10	2,19	0,64	0,12	0,26	
пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская	0,49	4,05	0,83	0,67	0,64	0,13	0,17	7
	3,53	7,11	0,18	4,44	1,11	0,20	0,55	
ПДК _C , мг/м ³	0,0003	0,040	0,05	3,0	0,000001	0,05	1,5	–
	0,0010	0,085	0,50	5,0	0,000010	0,15	5,0	

*В числителе приведены среднегодовые концентрации, в знаменателе – средние максимально разовые.

**Рассчитано по среднегодовым показателям.

Анализ результатов фенологических исследований показал, что у исследуемых древесных видов отмечены некоторые отличия в наступлении отдельных фаз развития в контрольной зоне и на изучаемых перекрестках. На контрольном участке ранним началом вегетации характеризовались рябина сибирская (25.04). Максимальный период цветения (20 дн.) и наиболее длительная вегетация были характерны для сирени обыкновенной (167 дн.). У березы повислой отмечался минимальный период цветения (6 дн.). Вблизи изучаемых перекрестков у исследуемых древесных видов наблюдались некоторые различия в наступлении и длительности отдельных фенофаз по сравнению с контролем. Так, более раннее появление зеленого конуса листьев на конце почки наблюдалось у березы повислой (пр. Октябрьский – ул. Терешковой, пр. Химиков – ул. Тухачевского) и рябины сибирской (пр. Октябрьский – ул. Терешковой, пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев) – в среднем на 2 дн.; у сирени обыкновенной (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) – на 3 дн. Наибольшие отклонения от контроля по данному показателю выявлены в 2007 г. у березы повислой на перекрестке пр. Химиков – ул. Тухачевского и сирени обыкновенной (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) – на 4 дн.

На исследуемых перекрестках цветение по сравнению с контролем наступало раньше у сирени обыкновенной – на 1 дн., у березы повислой – на 2 дн., у рябины сибирской – на 3 дн. Максимальные отличия от контроля отмечены в 2009 г. у рябины сибирской, произрастающей на перекрестке пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев (на 6 дн.) и сирени обыкновенной, произрастающей на перекрестке пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская (на 3 дн.).

В очагах локального воздействия выбросов автотранспорта у исследуемых растений по сравнению с контролем выявлено более раннее появление осенней окраски листьев и начало осеннего листопада (табл. 2).

Осенняя окраска листьев у березы повислой наблюдалась раньше в среднем на 2 дн., у рябины сибирской – на 3...4 дн. Начало листопада у рябины и березы, произрастающих вблизи исследуемых перекрестков, наступало раньше на 2...5 дн. У сирени (пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская) осенняя окраска листьев и начало листопада отмечались на 3...4 дн. раньше. У сирени обыкновенной, несмотря на то, что опадение листьев отмечалось после первых заморозков, большая их часть замерзала на ветвях зелеными. Ускорение прохождения основных фенологических фаз у исследуемых древесных видов привело к сокращению продолжительности вегетации: у березы повислой – в среднем на 5...6 дн.; у сирени обыкновенной – на 6...7 дн.; у рябины сибирской – на 7 дн. Очевидно, данные изменения связаны с локальными загрязнениями выбросами автотранспорта.

По результатам проведенных исследований установлена достоверная отрицательная корреляция между продолжительностью вегетации древесных видов и концентрациями загрязняющих веществ (максимально разовыми и среднегодовыми): у рябины и березы они варьировали в пределах $-0,61... -0,66$ (при $p < 0,05$, $N = 90$), у сирени – от $-0,84$ до $-0,96$ (при $p < 0,05$, $N = 60$).

Таблица 2

Фенологические даты исследуемых древесных растений

Вид	Пб ²	Цв ²	Цв ⁵	Пл ³	Ос ¹	Ол ¹	Ол ¹ – Пб ²	Цв ⁵ – Цв ²
Контроль								
Рябина сибирская:								
2007	18.04	16.05	04.06	17.08	14.08	20.08	125	19
2008	04.05	29.05	07.06	22.08	14.08	28.08	116	9
2009	24.04	24.05	04.06	16.08	09.08	30.08	128	11
<i>Среднее</i>	25.04	23.05	05.06	18.08	12.08	26.08	123	13
Береза повислая:								
2007	17.04	15.04	21.04	15.06	10.08	16.08	122	6
2008	06.05	03.05	08.05	20.06	12.08	17.08	103	5
2009	27.04	22.04	28.04	17.06	05.08	16.08	111	6
<i>Среднее</i>	27.04	23.04	29.04	17.06	09.08	16.08	112	6
Сирень обыкновенная:								
2007	02.05	21.05	12.06	15.10	–	17.10	168	22
2008	08.05	23.05	11.06	17.10	–	21.10	166	19
2009	27.04	30.05	19.06	05.10	–	11.10	167	20
<i>Среднее</i>	02.05	25.05	12.06	12.10	–	16.10	167	20
пр. Кузнецкий – ул. Сибиряков-гвардейцев								
Рябина сибирская:								
2007	20.04	19.05	31.05	16.08	12.08	16.08	119	12
2008	06.05	30.05	06.06	22.08	09.08	25.08	111	7
2009	25.04	30.05	05.06	13.08	06.08	21.08	118	6
<i>Среднее</i>	27.04	26.05	04.06	17.08	09.08	21.08	116	8
пр. Октябрьский – ул. Терешковой								
Рябина сибирская:								
2007	19.04	18.05	29.05	13.08	10.08	17.08	121	11
2008	07.05	01.06	08.06	16.08	06.08	23.08	108	7
2009	26.04	28.05	04.06	15.08	08.08	23.08	119	8
<i>Среднее</i>	27.04	26.05	03.06	15.08	08.08	21.08	116	9
Береза повислая:								
2007	20.04	18.04	23.04	16.06	07.08	15.08	118	5
2008	08.05	04.05	09.05	22.06	10.08	14.08	98	5
2009	29.04	24.04	30.04	18.06	05.08	13.08	106	6
<i>Среднее</i>	29.04	25.04	01.05	19.06	07.08	14.08	107	5
пр. Химиков – ул. Тухачевского								
Береза повислая:								
2007	21.04	19.04	23.04	14.06	08.08	13.08	115	4
2008	07.05	04.05	08.05	25.06	08.08	12.08	97	4
2009	28.04	23.04	29.04	17.06	04.08	12.08	106	6
<i>Среднее</i>	29.04	25.04	16.04	19.06	07.08	12.08	106	5
пр. Кузнецкий – ул. Красноармейская								
Сирень обыкновенная:								
2007	06.05	23.05	11.06	12.10	–	13.10	160	20
2008	10.05	21.05	07.06	14.10	–	18.10	161	17
2009	29.04	02.06	20.06	03.10	–	08.10	162	18
<i>Среднее</i>	05.05	26.05	13.06	10.10	–	13.10	161	18

Выводы

1. Выявлены видовые различия в прохождении основных фаз развития у исследуемых древесных растений в условиях действия выбросов автотранспорта на перекрестках г. Кемерово. Наиболее ранняя вегетация отмечена у рябины сибирской, максимальный период цветения и наиболее длительная вегетация – у сирени обыкновенной. Для березы повислой характерен минимальный период цветения.

2. У древесных растений, произрастающих вблизи перекрестков, отмечено ускорение прохождения основных фенологических фаз (цветение, окраска листьев, начало листопада), что приводит к сокращению продолжительности вегетации. Данные показатели могут быть использованы в качестве диагностического признака состояния растений в городской среде.

3. Наибольшую чувствительность к условиям локального загрязнения выбросами автотранспорта проявила рябина сибирская, наименьшую – береза повислая. Следовательно, рябину сибирскую можно использовать в качестве индикатора на загрязнение перекрестков города выбросами автотранспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Р.Р. Биоиндикация загрязнения природной среды с помощью биохимических и флуоресцентных параметров древесных растений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ташкент, 1993. 22 с.
2. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
3. Буторова О.Ф., Шестак К.В. Фенология интродуцентов в дендрарии СибГТУ // Лесн. журн. 2007. № 2. С. 48–53. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Быков А.А. Разработка и применение математических моделей для управления чистотой атмосферы по среднегодовым показателям: автореф. дис. ...канд. хим. наук. М., 1988. 22 с.
5. Дончева А.В., Казаков Л.К., Калуцков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.
6. Материалы к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2005 г.» / Администрация Кемеровской области. Кемерово: ИНТ, 2006. 320 с.
7. Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Древесные растения и урбанизированная среда: Экологические и биотехнологические аспекты. Новосибирск: Наука, 2003. С. 121–155.
8. Николаевский В.С., Николаевская Н.Г., Козлова Е.А. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов // Лесн. вестник. 1999. 2 (7) май. С. 76–77.
9. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. М., 1999. 193 с.
10. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов европейской части России). Пушино, 1990. 92 с.

Поступила 11.05.10

O.L. Tsandekova

Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Phenological Characteristics of Wood Types under Conditions of Vehicle Emissions

Phenological characteristics of wood plants at crossroads of Kemerovo have been studied. The heavy traffic load at the town crossroads was found to cause accelerated undergoing of main phenological phases (blooming, colouring of leaves, beginning of abscission) and shorter duration of vegetation. The most sensitive for the conditions of local pollution proved to be Siberian mountain ash, which is suggested to be used as an indicator of environmental pollution by vehicle emissions.

Key words: phenological stages of development, wood plants, vehicle emissions, pollutants, town crossroads Kemerovo.

УДК 630*321

В.В. Пахучий

Сыктывкарский лесной институт
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета

Пахучий Владимир Васильевич родился в 1948 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесного хозяйства Сыктывкарского лесного института С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет более 190 печатных работ в области гидротехнических мелиораций, лесоведения, лесоводства.
E-mail: pakhutchy@rambler.ru



ФАКТОРЫ ДИНАМИКИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ОСУШИТЕЛЬНОЙ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

Представлены результаты изучения динамики сосновых насаждений на объектах осушительной гидромелиорации в Корткеросском лесничестве Республики Коми. Оценка динамических состояний выполнена на основе факторного анализа. Интерпретированы ведущие обобщенные факторы. Приведено описание траекторий движения объектов исследования в факторном пространстве ведущих обобщенных факторов.

Ключевые слова: гидромелиорация, факторный анализ, динамические состояния, сосновые насаждения, Республика Коми.

В Республике Коми площадь заболоченных и болотных лесов составляет 11,7 млн га [9]. Лесоосушительные работы в республике проводятся с 1969 г. В настоящее время общая площадь осушенных лесных земель около 100 тыс. га, из которых 70 тыс. га представлено сосняками. Поэтому сосновые насаждения здесь являются основным объектом лесоосушения.

Известна зависимость лесоводственной эффективности в результате осушительной гидромелиорации от ботанического состава, степени разложения, зольности и кислотности верхних торфяных горизонтов, а также водно-физических и химических свойств и гранулометрического состава подстилающего торф грунта [1, 3, 5 и др.]. При этом недостаточно исследованы изменения древостоев на осушаемых лесных землях в процессе сукцессионных смен, выражающихся в изменении растительных сообществ под влиянием осушения.

В данной работе оценены динамические состояния сосновых насаждений на объектах гидромелиорации в подзоне средней тайги Республики Коми.

Таблица 1

Номер пробной площади, год таксации	Характеристики насаждений на опытных участках														
	Порода	Характеристика древостоев элементов леса						Характеристика ярусов				Характеристика насаждений			
		Д, см	Н, м	А, лет	Н _л , шт./га	Г, м ² /га	М, м ³ /га	Состав	Н, м	Г, м ² /га	Р _{ом}	М, м ³ /га	Класс возраста	Текущий класс бонитета	Тип леса
5-2002	С	15,5	14,7	110	1350	25,2	194	8С2Е ед.Б	14,8	30,3	1,0	234	VI	III-IV	С. черн.
11-1998	Е	18,4	15,0	170	145	3,9	33	10С ед.Б	8,5	18,1	0,9	93	VIII	V	С. еф.
	Б	11,6	10,7	100	110	1,2	7								
25-1998	С	13,5	8,5	146	1256	18,0	92	10С ед.Е, ед.Б	12,3	23,4	0,9	155	X	Va	С.б.-сф.
	Б	9,5	9,0	41	17	0,2	1								
	Е	17,8	12,3	181	932	23,1	153								
	Б	8,0	6,4	141	26	0,1	1								
	Б	8,1	8,1	66	37	0,2	1								

Примечание: Д – диаметр, Н – высота, А – возраст, N – густота, G – сумма площади сечения (для яруса – абсолютная полнота), M – запас древесины, P_{ом} – полнота относительная, С – сосна, Е – ель, Б – береза, сф. – сфагновый, б.-сф. – багульниково-сфагновый, черн. – черничник.

Строительство осушительных систем выполнено в 1976 г. Для изучения данного вопроса использованы пробные площади 5, 11, 25, заложенные в 1982 г. на водораздельной территории в Корткеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества [6] в соответствии с общепринятыми методиками и с учетом рекомендаций по закладке и обработке пробных площадей в осушенных насаждениях [4, 8, 10]. Типы леса приведены по типологии В.Н. Сукачева. Характеристика древостоев после осушения представлена в табл. 1. Таксационные показатели насаждений на рассматриваемых пробных площадях по данным 1982 г. были опубликованы ранее [6].

Таксационное описание на пробной площади 5 выполнено в 1982, 1992, 2002 и 2009 гг., а на 11 и 25 – в 1982, 1990, 1998 и 2009 гг. В год осушения на пробной площади 5 произрастал сосняк-черничник влажный, на 11 – сосняк сфагновый, на 25 – сосняк багульниково-сфагновый. На пробных площадях 11 и 25 тип леса после осушения сохранился. Насаждение на пробной площади 5 с 2002 г. и по настоящее время характеризуется как сосняк-черничник свежий, т.е. относится к зеленомошной группе типов леса. На объектах исследования глубина регулирующих осушителей изменяется от 0,6 до 1,2 м (проектная глубина – 0,8...1,4 м), проводящих собирателей и магистральных каналов – от 0,6 до 1,5 м (проектная глубина – 0,6...1,6 м), расстояние между каналами 125...130 м. На водораздельных пространствах почвообразующие породы представлены двучленными наносами. На глубине 0,8...1,0 м пылевато-песчаные пески и супеси подстилаются слабопроницаемыми суглинками.

Для оценки устойчивости и описания динамических состояний лесных сообществ предлагается использовать метод, в основу которого положен многомерный статистический анализ, в данном случае – факторный. При этом траектория движения лесных сообществ в пространстве ведущих обобщенных факторов может рассматриваться как их общая динамическая характеристика [2]. Опорные точки (даты выполнения таксационных описаний), через которые пройдет траектория, будут отражать динамическое состояние изучаемого сообщества в рассматриваемые периоды времени.

Применение методов многомерного статистического анализа при аналогичных исследованиях оправдано ввиду сложности растительного покрова, многообразия факторов, влияющих на формирование структуры древостоев, слагающих лесные массивы, и тесной взаимосвязи этих факторов.

Общее количество таксационных описаний насаждений на трех пробных площадях – 12. Количество изучаемых признаков 27, в их числе таксационные характеристики древостоев элементов леса, древесных ярусов и насаждений в целом. Продолжительность влияния осушения учтена посредством включения в обработку таксационных описаний насаждений в различные после строительства осушительных систем периоды. Тип леса не включен в число параметров вследствие невозможности его однозначной количественной оценки. Характеристики режима почвенно-грунтовых вод, влажности почвы, стока, оценки потенциального плодородия получены в 1982 – 1986 гг. [6],

поэтому их сравнение в рассматриваемые периоды (с 1982 г. по 2009 г.) невозможно. Матрица факторных нагрузок (зависимость параметров от факторов) рассчитана методом главных факторов (табл. 2).

Таблица 2

Фрагмент матрицы факторных нагрузок

Параметры	Обобщенные факторы			
	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4
Количество пород в насаждении	0,7539	-0,2636	0,1893	0,5233
Средний диаметр сосны, см	0,0627	-0,9868	-0,1084	-0,0357
Средняя высота сосны, м	0,8052	-0,5788	0,0678	0,0036
Средний возраст сосны, лет	-0,6760	-0,7002	-0,0191	0,0111
Густота сосны, тыс. шт./га	0,5092	0,7524	0,0151	-0,1286
Сумма площадей сечений сосны, м ² /га	0,6178	-0,6618	-0,3904	-0,1106
Запас сосны, м ³ /га	0,7916	-0,5970	-0,0933	-0,0068
Средний диаметр ели, см	0,9243	-0,2954	0,2101	-0,0296
Средняя высота ели, м	0,9259	-0,2939	0,1839	-0,0163
Средний возраст ели, лет	0,7629	-0,5191	0,3638	0,0376
Густота ели, тыс. шт./га	0,8727	0,3894	0,1822	-0,1313
Сумма площадей сечений ели, м ² /га	0,9305	0,2830	0,1626	-0,1480
Запас ели, м ³ /га	0,9609	0,1670	0,0638	-0,0991
Средний диаметр березы, см	0,6664	0,2481	-0,6228	0,2675
Средняя высота березы, м	0,5959	0,4775	-0,4627	0,1916
Средний возраст березы, лет	0,9032	0,1019	-0,2170	0,2977
Густота березы, тыс. шт./га	0,7866	0,1886	0,2856	0,3363
Сумма площадей сечений березы, м ² /га	0,9420	0,3165	0,0640	-0,0147
Запас березы, м ³ /га	0,9681	0,2195	0,0126	0,0116
Доля в составе яруса сосны, ед.	-0,9174	-0,3104	-0,1223	0,1490
Доля в составе яруса ели, ед.	0,9174	-0,3104	-0,1223	0,1490
Высота яруса, м	0,7988	-0,5871	0,0607	0,0028
Абсолютная полнота, м ² /га	0,8622	-0,4069	-0,2447	-0,1382
Относительная полнота	0,6658	-0,0004	-0,6439	-0,1941
Запас яруса, м ³ /га	0,9088	-0,3978	-0,0521	-0,0812
Класс возраста насаждения	-0,6652	-0,6924	0,0098	0,0539
Класс бонитета насаждения	-0,9771	0,1232	-0,1030	0,0337

Часть показателей, включенных в перечень параметров табл. 2, тесно коррелируют между собой, что обеспечивает возможность интерпретации обобщенных факторов. Установлено, что большая часть суммарной дисперсии (95,8 %) может быть учтена обобщенными факторами Ф1–Ф4.

Обобщенный фактор Ф1 учитывает 65,1 % суммарной дисперсии. Здесь вклады практически всех параметров в фактор достаточно высоки. Наиболее высокие вклады отмечаются для таких параметров, как класс бонитета, суммы

площадей сечений и запасы древостоев элементов леса, доленое участие сосны и ели в составе яруса. Предварительно Ф1 может быть интерпретирован как обобщенный фактор, отражающий общую таксационную характеристику насаждений, связанную с их производительностью.

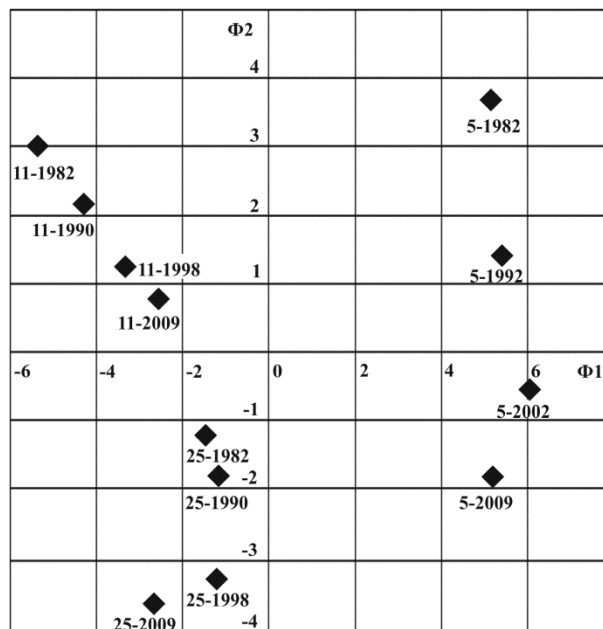
Обобщенный фактор Ф2 учитывает 21,4 % суммарной дисперсии параметров, характеризующих в основном древостой элемента леса – сосну. Кроме этого, следует отметить высокий вклад одного из показателей общей характеристики насаждения – класса возраста, устанавливаемого в рассматриваемом случае по возрасту сосны. В связи с этим Ф2 может быть интерпретирован как обобщенный фактор древостоя сосны с учетом ее возрастного развития и продолжительности периода влияния осушения.

Ф3 учитывает 6,5 % суммарной дисперсии и характеризует в основном вклады отдельных показателей древостоя элемента леса – березы. В связи с этим Ф3 интерпретирован как обобщенный фактор древостоя березы.

Для Ф4 характерен достаточно высокий вклад такого параметра, как количество пород в насаждении, поэтому Ф4 можно интерпретировать как фактор, отражающий видовое разнообразие насаждения.

В соответствии со схемой распределения учетных единиц (таксационных описаний насаждений) в факторном пространстве Ф1–Ф2 (см. рисунок) опытные объекты могут быть разделены на группы, отличающиеся по комплексу параметров, учтенных этими обобщенными факторами.

Распределение учетных единиц (таксационных описаний) в факторном пространстве Ф1–Ф2 (цифры у метки обозначают номер пробной площади и год таксационного описания)



Выбор факторов $\Phi 1$ и $\Phi 2$ объясняется тем, что они учитывают 86,5 % суммарной дисперсии ($\Phi 1$ – 65,1 %, $\Phi 2$ – 21,4 %). Выделяются 3 группы объектов: объекты 5-1982 – 5-2009 характеризуют последовательные состояния после осушения сосняка-черничника влажного на пробной площади 5; объекты 11-1982 – 11-2009 – после осушения насаждения сфагнового типа леса на пробной площади 11; объекты 25-1982 – 25-2009 – насаждения багульниково-сфагнового типа леса на пробной площади 25. Динамические состояния насаждения черничного влажного типа леса после осушения могут быть описаны траекторией его движения в положительной области фактора $\Phi 1$ и в положительной и отрицательной областях фактора $\Phi 2$; динамические состояния сосняка сфагнового – траекторией движения в отрицательной области фактора $\Phi 1$ и положительной области фактора $\Phi 2$; сосняка багульниково-сфагнового – траекторией движения в отрицательной области факторов $\Phi 1$ и $\Phi 2$.

Анализ схемы распределения таксационных описаний показывает, что для сосняка-черничника влажного характерна траектория движения в узком диапазоне изменений фактора $\Phi 1$ с тенденцией к смещению в отрицательную область $\Phi 1$ (по данным последнего таксационного описания). Скорее всего, это связано с достаточной естественной дренированностью данного участка. Следует также учитывать относительно высокий возраст насаждения (VI класс возраста). Траектория движения сосняка сфагнового типа леса имеет форму, близкую к прямолинейной. Причина такой динамики, вероятно, определяется омолаживающим эффектом осушения, связанным с увеличением количества деревьев в тонкомерных ступенях после гидромелиорации. Для сосняка багульниково-сфагнового траектория движения в области $\Phi 1$ близка к таковой для сосняка-черничника влажного. В тоже время смещение опорной точки в отрицательную область $\Phi 1$, по данным последнего таксационного описания, более выражено для сосняка багульниково-сфагнового, чем для сосняка-черничника влажного. Причиной этого может быть высокий возраст сосны. К моменту последних учетов насаждение относилось к десятому классу возраста. Необходимо также учитывать, что с 1988 г. на объекте исследования не проводился ремонт осушительной системы. Это может свидетельствовать о целесообразности проведения в сосняке багульниково-сфагновом рубок для заготовки древесины и последующих ремонтов осушительной сети.

С практической и теоретической точек зрения интересны случаи рекордно высоких значений наличного запаса и приростов по запасу на объектах гидромелиорации. В Республике Коми таким примером могут служить осушенные объекты в Позтыкеросском участковом лесничестве Корткеросского лесничества. Здесь после осушения болотно-травяного сосняка I класса возраста низкой полноты с примесью лиственных пород за период около 50 лет сформировалось хвойно-мелколиственное насаждение III класса возраста с преобладанием сосны. Наличный запас древесины в возрасте 50 лет достигал 175 м³/га, а текущее среднепериодическое накопление запаса на отдельных участках составило 8 ... 9 м³/га в год [6]. Однако в древостоях

с такой энергией роста наблюдался интенсивный отпад лиственных и хвойных пород. Последнее согласуется с мнением о том, что на уровне типа леса отклонение от определенной формовой структуры насаждений и определенного уровня внутривидового развития может привести к повышению продуктивности, но сопряжено с высокой вероятностью потери устойчивости [7] и указывает на обязательность реализации в насаждениях с высоким лесоводственным эффектом осушения программы рубок ухода.

Выводы

Исследование роста сосновых насаждений на осушенных лесных землях Корткеросского лесничества Республики Коми показало, что осушение является основным фактором динамики сосняков на объектах гидромелиорации. При этом 86 % суммарной дисперсии использованных при анализе показателей учитывается двумя обобщенными факторами, интерпретированными по общей таксационной характеристике насаждений, связанной с их производительностью, и по древостою сосны с учетом возрастного развития и продолжительности периода влияния осушения. В качестве общей динамической характеристики насаждений на объектах гидромелиорации может быть использована траектория движения насаждений в пространстве ведущих обобщенных факторов. Оценка динамических состояний насаждений на объектах исследования указывает на целесообразность своевременного проведения в спелых и перестойных насаждениях рубок для заготовки древесины и рубок ухода в насаждениях с высокой лесоводственной эффективностью осушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабиков Б.В.* Гидротехнические мелиорации: учеб. для вузов. 4-е изд., стереотип. СПб., 2005. 304 с.
2. *Буш К.К.* Отражение динамики осушенных лесов в типологии // *Динамическая типология лесов.* М., 1989. С. 168–177.
3. *Волперский С.Э.* Биологические основы эффективности лесосушения. М., 1968. 310 с.
4. *Моисеев В.С.* Таксация леса. Л., 1970. 258 с.
5. *Пахучий В.В.* Влияние зольности торфа и глубины почвенно-грунтовых вод на рост сосновых древостоев на осушенных мелкозалежных торфяниках // *Лесн. журн.* 1987. № 1. С. 13–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Пахучий В.В.* Факторы продуктивности осушенных насаждений Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1991. 114 с.
7. *Романовский М.Г.* Биоразнообразие, устойчивость, продуктивность // *Биологическое разнообразие лесных экосистем.* М., 1995. С. 37–40.
8. *Рубцов В.Г., Книзе А.А.* Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях. Л., 1977. 44 с.
9. *Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатилло Д.А.* Справочник гидроресурсомелиоратора. М., 1981. 200 с.

10. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.; Л., 1952. 853 с.

Поступила 07.04.10

V.V. Pakhuchiy

Saint-Petersburg State Forestry University – Syktyvkar Forestry Institute

Factors of the Pine Stands Dynamics on the Reclamation Project Sites in the Komi Republic

The work presents research results regarding a dynamics of the Pine (*Pinus sylvestris*) stands on the ameliorated lands in the Kortkeros district of the Komi Republic. The dynamic state assessment has been carried out on the basis of factorial analysis. The description of evolutions of the research test subjects in the factor structure is put forward.

Key words: water conservation, factorial analysis, dynamic state, pine stands, Komi Republic.

УДК 630*[165.6 + 232.311.3]

Н.Н. Бессчетнова

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Бессчетнова Наталья Николаевна окончила в 1989 г. Казахский сельскохозяйственный институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Имеет более 40 научных работ в области изучения эффективности лесной селекции и совершенствования селекционного потенциала плюсовых деревьев основных лесообразующих пород, селекции сосны обыкновенной.

E-mail: besschetnova1966@mail.ru, lesfak@bk.ru



СОДЕРЖАНИЕ ЖИРОВ В КЛЕТКАХ ПОБЕГОВ ПЛУСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Установлен наследственный характер различий плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию жиров в клетках годичных побегов. Зафиксирована дисперсия различного уровня на лесосеменных плантациях и в архивах клонов, созданных в Нижегородской области. Установлено, что факторы среды оказывают заметное влияние на проявление отмеченного разнообразия.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, содержание жиров.

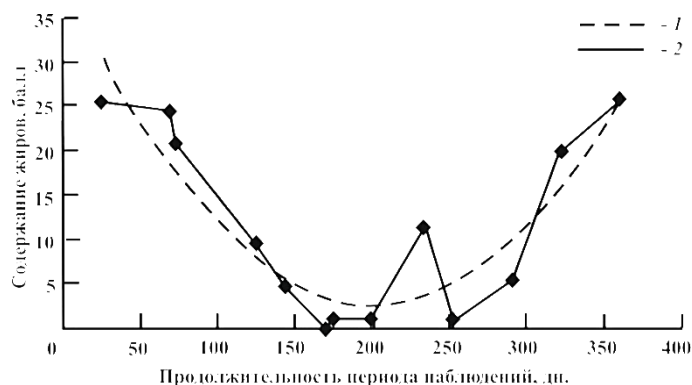
Одним из перспективных направлений развития лесного семеноводства в нашей стране выступает его переход на селекционно-генетическую основу [4, 5, 9]. В соответствии с этим преимущественным источником лесных семян должны стать лесосеменные плантации (ЛСП), созданные вегетативным потомством плюсовых деревьев основных лесообразующих пород [4, 7, 10]. Вместе с тем эффективность отбора по фенотипу, целесообразность его продолжения в традиционной форме, перспективность совершенствования схем реализации выступают предметом достаточно продолжительной дискуссии. Сформировавшиеся на текущий момент представления о результативности метода в лесной селекции неоднозначны, а порой противоречивы [3, 6, 7, 10]. Во многом такая ситуация вызвана недостаточным объемом объективной информации о многочисленных характеристиках плюсовых деревьев, что признается одной из проблем современной лесной селекции и определяет необходимость их активного и всестороннего изучения.

Объектом исследования явились плюсовые деревья сосны обыкновенной, сосредоточенные в архивах клонов № 1 и № 4 и используемые в ассортименте ЛСП № 24 государственного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецлесхоз». Оценка соответствия ритмов их сезонного развития ходу изменений погодных условий нами давалась по результатам

анализа динамики содержания важнейших запасных веществ в побегах. Наблюдения проводились круглогодично. Первичная единица выборки в опыте представлена временными препаратами поперечных срезов из средней части годичного прироста, которые после окрашивания и фиксации анализировали с помощью микроскопа. Наличие жиров в клетках оценивали дифференцировано по учетным зонам каждой из тканей, используемых для анализа. В работу были привлечены: сердцевина, перимедуллярная зона ксилемы, сердцевинные лучи ксилемы, ранняя и поздняя ксилема, смоляные ходы ранней и поздней ксилемы, смоляные ходы флоэмы, прикамбиальная, прифеллогенная и средняя зоны флоэмы, корковая зона (зона паренхимных клеток, лежащая на периферии побега между феллогеном и внешней границей побега). Оценку давали по каждой учетной зоне тканей отдельно, в сумме баллов по всем учетным зонам и в средних значениях балльных оценок для учетной зоны. В качестве контроля визирования использовали неокрашенные срезы, с которыми сравнивали срезы, окрашенные соответствующими реактивами. Жиры обнаруживали реакцией на Судан III в соответствии с общепринятыми методами [8] в условных баллах по предложенной нами шкале [1]. Сроки взятия проб приурочены к характерным фенологическим состояниям растений: период покоя (первый срок учета), выход из состояния покоя (второй), начало образования поздней ксилемы (третий), переход в состояние покоя (четвертый), информативность которых была установлена нами ранее [2]. Схема опыта обеспечивала построение иерархических комплексов. Исходные данные по ним обрабатывали статистически с выполнением одно- и двухфакторного иерархического дисперсионного анализа.

Одним из важных показателей динамики биологического состояния древесных растений выступает характер сезонных изменений содержания жиров в клетках их побегов. Изучение специфики ритмов изменения содержания жиров в побегах вегетативных потомств плюсовых деревьев сосны обыкновенной, сосредоточенных на лесосеменных плантациях и в архивах клонов государственного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецлесхоз», дало следующие результаты (рис. 1).

Рис. 1. Динамика содержания жиров в тканях побегов клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной в архиве клонов № 1 (начало периода наблюдений – 1 января): 1 – полиномиальная кривая, 2 – экспериментальная кривая



Как показывает рис. 1, общий характер изменений содержания жиров в побегах клонов сводится к следующему. В период зимнего покоя растений (вторая половина ноября – первая половина марта) у всех анализируемых объектов жиры присутствуют в наибольших количествах: 19,00...25,3 балл. С выходом растений из состояния покоя содержание жиров снижается и в апреле–мае в среднем достигает 9,17...4,87 балл. соответственно. В дальнейшем тенденция к их снижению сохраняется, и в средней части вегетационного периода (июнь, июль) фиксируется минимум (0...1,13 балл.). При этом разница между клонами на данном учетном отрезке времени минимальна (0...6,00 балл.). В июне (фаза интенсивного отрастания побегов) у всех клонов наблюдается абсолютный минимум (0 балл.), в этот момент различия между ними минимизируются или практически стираются. В августе тенденция в динамике содержания жиров изменяется на противоположную: возникает летний максимум. Практически у всех клонов содержание жиров возрастает (в среднем 11,80 балл.), а разница в суммарных значениях становится наибольшей: от 3,00 до 20,00 балл. В сентябре вновь происходит снижение в среднем до 0,26 балл., что формирует выраженный летний пик. В октябре, ноябре и декабре показатель устойчиво возрастает (4,96; 19,00; 24,20 балл. соответственно) и достигает зимнего максимума. В целом в период вегетации содержание жиров в некоторой мере флуктуирует, при этом общее их количество остается невысоким (в среднем не более 5,00 балл.). Сезонная динамика содержания жиров вполне адекватно описывается полиномиальным уравнением второй степени

$$y = 0,0009x^2 - 0,3624x + 39,077 (R^2 = 0,8273).$$

Сравнение по суммарному количеству жиров в учетных тканях побегов выявило неравнозначность плюсовых деревьев, введенных в состав опытных участков (рис. 2).

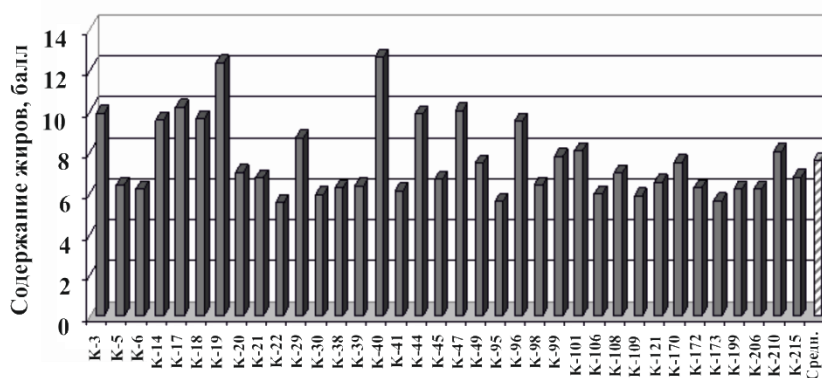


Рис. 2. Содержание жиров в тканях побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной (первый срок учета – январь)

Как видно на рис. 2, различия между сравниваемыми образцами значительны. Максимальные показатели имели клоны с индексами К-18 и К-40, минимальные – К-22 и К-95. Наибольшее значение (12,61 балл.) у клона К-40, что в 2,29 раза больше, чем наименьшее (5,50 балл.) у К-22.

Существенность установленных различий подтвердил однофакторный дисперсионный анализ (табл. 1), выполненный отдельно по четырем срокам учета: I – январь; II – апрель; III – июль; IV – декабрь.

Таблица 1

Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями сосны обыкновенной по содержанию жиров в тканях побегов

Срок учета	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h^2}$)				Критерии различий, балл	
	$F_{оп}$	F_{05}/F_{01}	по Плохинскому		по Снедекору		HCP_{05}	D_{05}
			h^2	$\pm s_{h^2}$	h^2	$\pm s_{h^2}$		
Архив клонов № 1								
I	2,49	1,62/1,97	0,2296	0,0921	0,1423	0,1026	1,30	2,35
II	2,70	1,62/1,97	0,2441	0,0904	0,1589	0,1006	1,84	3,33
III	2,87	1,62/1,97	0,2553	0,0890	0,1718	0,0990	5,11	9,24
IV	3,65	1,62/1,97	0,3036	0,0833	0,2272	0,0924	3,46	6,26
Архив клонов № 4								
I	2,41	1,45/1,69	0,2258	0,0935	0,1358	0,1044	3,43	6,19
II	1,56	1,45/1,69	0,1586	0,1017	0,0586	0,1137	2,72	4,90
III	4,90	1,45/1,69	0,3719	0,0759	0,3023	0,0843	2,52	4,54
IV	1,94	1,45/1,69	0,1897	0,0979	0,0943	0,1094	4,23	7,63
ЛСП № 24								
I	3,92	1,45/1,69	0,3224	0,0823	0,2447	0,0918	2,65	4,78
II	3,38	1,45/1,69	0,2913	0,0861	0,2093	0,0961	2,02	3,64
III	2,42	1,45/1,69	0,2273	0,0939	0,1363	0,1050	4,94	8,91
IV	3,88	1,45/1,69	0,3203	0,0826	0,2423	0,0921	4,38	7,90

Материалы табл. 1 свидетельствуют о том, что в большинстве случаев учета в комплексах клонов плюсовых деревьев, введенных в состав объектов постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) и единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК), опытные критерии Фишера ($F_{оп}$) превосходят табличные значения как на 5 %-м, так и на 1 %-м уровне значимости. Лишь в одном случае (апрельский учет в архиве клонов № 4) не подтвердилась существенность различий на 1 %-м уровне значимости. Наименьшая существенная разность (HCP) и D -критерий Тьюки, обозначающие критический порог существенности различий, позволяют установить, между какими вегетативными потомствами он будет превышен при сопоставлении их средних значений. Следует отметить, что представленные оценки получены на фоне выровненных условий произрастания на каждом из опытных участков, что обуславливает минимизацию влияния внешних факторов на дифференциацию анализируемых растений по учитываемому показателю. При этом необходимо принимать во внимание, что изменение экологических условий для того или иного клона, вызванное его участием в составе разных объектов (и на ЛСП № 24, и в архи-

вах №1 и № 4), может привести к появлению у каждого из них вполне специфической реакции, связанной с индивидуальным порогом критических требований к ресурсному потенциалу среды. Это может выражаться, в том числе, в особенностях реализации их возможностей синтезировать, транспортировать, трансформировать и накапливать продукты фотосинтеза. Тогда можно ожидать и неодинаковый уровень дисперсии значений изучаемого признака на опытных участках.

Доля влияния организованных факторов, которые в нашем случае определены принадлежностью к тому или иному плюсовому дереву, при расчетах по алгоритму Плохинского составляет от 15,86 (архив клонов № 4, II срок учета) до 37,19 % (архив клонов № 4, III) и от 6,81 до 40,98 %. Расчет по алгоритму Снедекора дает несколько меньшие результаты: от 5,86 до 30,23 % по тем же срокам и объектам. Это справедливо в отношении вариантов, где отвергается нулевая гипотеза. Полученный результат свидетельствует о заметной генотипической обусловленности различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев по способности накапливать в своих тканях жиры. Такой уровень фиксируется во все сроки учета на всех обследованных участках. Это обуславливает принципиальную возможность привлечения данного показателя для включения в состав комплекса признаков при многомерной идентификации объектов лесной селекции: плюсовых деревьев, их клонов и семенных репродукций.

Вместе с тем влияние неорганизованных факторов, в число которых могут быть включены и факторы среды, оказывается преобладающим и во всех случаях учета превышает 50 %. Данное обстоятельство указывает на значительную зависимость проявляющейся способности плюсовых деревьев накапливать жиры в тканях побегов от воздействия внешних условий. Оно способно нивелировать разницу в показателях, имеющую генотипическую природу, и предопределяет возможность достаточно больших изменений в фенотипических проявлениях признака. Это влияние способно изменить соотношение в показателях определенного набора клонов при учетах в разные сезоны года, характеризующиеся несходными климатическими параметрами.

Эффективность действия всех организованных факторов, вызывающих различия между плюсовыми деревьями, представленными своими клонами в объектах ПЛСБ и ЕГСК по накоплению жиров, позволил установить двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 2).

В половине случаев учета различия между плюсовыми деревьями несущественны: опытные критерии Фишера не превышают табличных значений. В вариантах, в которых нулевая гипотеза опровергается, влияние фактора «различия между ортетами» в целом достаточно заметно: от 22,96 (архив № 1, I срок учета) до 32,03 % (ЛСП № 24, IV).

Таблица 2

**Оценка существенности различий между плюсовыми деревьями
по накоплению жиров в тканях годичных побегов (2008 г.)**

Объект	Источник дисперсии	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h^2}$)			
				по Плохинскому		по Снедекору	
		$F_{оп}$	F_{05} / F_{01}	h^2	$\pm s_{h^2}$	h^2	$\pm s_{h^2}$
I срок учета							
Архив клонов № 1	Ортеты	1,84	1,80/ 2,30	0,2296	0,3684	0,1469	0,4080
	Раметы	1,53	1,44/ 1,68	0,2604	0,2465	0,1285	0,2905
Архив клонов № 4	Остаток	–	–	0,5100	0,4900	0,7246	0,2754
	Ортеты	1,27	1,59/ 1,93	0,2258	0,3742	0,1477	0,4120
ЛСП № 24	Раметы	2,73	1,32/ 1,48	0,3692	0,2103	0,3123	0,2292
	Остаток	–	–	0,4050	0,5950	0,5401	0,4599
ЛСП № 24	Ортеты	1,24	1,59/ 1,93	0,3224	0,3294	0,2457	0,3667
	Раметы	11,10	1,32/ 1,48	0,5335	0,1555	0,5816	0,1395
ЛСП № 24	Остаток	–	–	0,1441	0,8559	0,1727	0,8273
	II срок учета						
Архив клонов № 1	Ортеты	1,44	1,80/ 2,30	0,2441	0,3615	0,1679	0,3980
	Раметы	2,66	1,44/ 1,68	0,3552	0,2149	0,2964	0,2345
Архив клонов № 4	Остаток	–	–	0,4007	0,5993	0,5357	0,4643
	Ортеты	1,49	1,59/ 1,93	0,1586	0,4067	0,0599	0,4544
ЛСП № 24	Раметы	1,07	1,32/ 1,48	0,2208	0,2597	0,0207	0,3264
	Остаток	–	–	0,6205	0,3795	0,9194	0,0806
ЛСП № 24	Ортеты	1,65	1,59/ 1,93	0,2913	0,3445	0,2137	0,3822
	Раметы	3,15	1,32/ 1,48	0,3629	0,2124	0,3281	0,2240
ЛСП № 24	Остаток	–	–	0,3458	0,6542	0,4581	0,5419
	III срок учета						
Архив клонов № 1	Ортеты	2,10	1,80/ 2,30	0,2553	0,3562	0,1752	0,3945
	Раметы	1,56	1,44/ 1,68	0,2545	0,2485	0,1293	0,2902
Архив клонов № 4	Остаток	–	–	0,4902	0,5098	0,6955	0,3045
	Ортеты	2,59	1,59/ 1,93	0,3719	0,3036	0,2979	0,3394
ЛСП № 24	Раметы	2,69	1,32/ 1,48	0,2970	0,2343	0,2530	0,2490
	Остаток	–	–	0,3312	0,6688	0,4491	0,5509
ЛСП № 24	Ортеты	1,27	1,59/ 1,93	0,2273	0,3756	0,1482	0,4141
	Раметы	2,73	1,32/ 1,48	0,3683	0,2106	0,3118	1,8802
ЛСП № 24	Остаток	–	–	0,4044	0,5956	0,5400	0,4600
	IV срок учета						
Архив клонов № 1	Ортеты	3,27	1,80/ 2,30	0,3036	0,3331	0,2275	0,3695
	Раметы	1,16	1,44/ 1,68	0,1940	0,2687	0,0388	0,3204
Архив клонов № 4	Остаток	–	–	0,5024	0,4976	0,7337	0,2663
	Ортеты	0,88	1,59/ 1,93	0,1897	0,3917	0,1159	0,4273
ЛСП № 24	Раметы	3,68	1,32/ 1,48	0,4463	0,1846	0,4169	0,1944
	Остаток	–	–	0,3641	0,6359	0,4671	0,5329
ЛСП № 24	Ортеты	1,81	1,59/ 1,93	0,3203	0,3304	0,2432	0,3679
	Раметы	3,45	1,32/ 1,48	0,3638	0,2121	0,3406	0,2198
ЛСП № 24	Остаток	–	–	0,3159	0,6841	0,4162	0,5838

Действие различий между ракетами чаще оказывается существенным и по величине несколько большим в сравнении с вышеотмеченными значениями. Оно оценивается интервалом от 25,45 (архив № 1, III срок учета) до 53,35 % (на ЛСП № 24, I). Влияние данного фактора связано с неоднородностью вегетативного потомства отдельного плюсового дерева. Существующие регламенты и реализуемая в соответствии с ними агротехника создания ЛСП вегетативного происхождения и архивов клонов (от момента первичного освоения участка до этапа перехода растений в генеративную фазу) предусматривают предельно возможное выравнивание условий произрастания деревьев и минимизацию в этой связи их дифференцирующего эффекта. Кроме того, принятые приемы тиражирования и режимы выращивания посадочного материала обеспечивают однотипность его технологических параметров. Действенной причиной неравноценности прививок (именно этот метод размножения использовался для создания анализируемых объектов) является не только качество работ при их выполнении, но и индивидуальное состояние подвоя и привоя. Это может определять успешность их срастания и последующее развитие.

В заключение можно отметить, что плюсовые деревья сосны обыкновенной, представленные своими клонами в их архивах и на лесосеменных плантациях, существенно различаются по способности накапливать жиры в тканях годичных побегов. Выявленная дифференциация ассортиментного состава объектов ПЛСБ и ЕГСК устойчива и проявляется в течение всего года на каждом из обследованных участков. Отмеченная неоднородность вегетативного потомства плюсовых деревьев в значительной мере обусловлена генотипически, что подтвердили результаты одно- и двухфакторного дисперсионного анализа. Наследственный характер различий между плюсовыми деревьями по накоплению жиров в тканях побегов предопределяет целесообразность привлечения данного признака для осуществления многомерной идентификации объектов лесной селекции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бессчетнова Н.Н.* Содержание запасных веществ и ход лигнификации в тканях побегов у вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Актуальные проблемы лесного хозяйства Нижегородского Поволжья и пути их решения: сб. науч. ст. по материалам науч.-практ. конф., посвященной 75-летию НГСХА. Нижний Новгород, 2005. С. 20–28.
2. *Бессчетнова Н.Н.* Сравнительный анализ семян сосны обыкновенной по физиологическому состоянию в Семеновском специализированном семеноводческом лесхозе // Там же. С. 29–40.
3. *Ефимов Ю.П.* Генетико-селекционная оценка объектов постоянной лесосеменной базы // Генетика и селекция – на службе лесу: материалы междунар. науч. конф., Воронеж, 28–29 июня 1996 г. Воронеж: Изд-во НИИЛГиС, 1997. С. 298–307.
4. *Ефимов Ю.П.* О новой категории семенных плантаций древесных пород в лесном семеноводстве России // Материалы междунар. науч. конф. «Селекция, гене-

тические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений» (Вавиловские чтения): сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 59. Гомель, 2003. С. 200–204.

5. Коновалов Н.А., Пугач Е.А. Основы лесной селекции и сортового семеноводства. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.

6. Петров С.А. Система плюсовой селекции // Разработка основ систем селекции древесных пород: тез. докл. совещания. Ч. I. Рига, 1981. С. 103–105.

7. Потылев В.Г. Проблемы лесного селекционного семеноводства // Лесохозяйственная информация. 1997. № 3. С. 14–30.

8. Прозина Н.М. Ботаническая микротехника. М.: Высш. шк., 1960. 205 с.

9. Стадницкий Г.В., Сметанин Г.М. Об учете и прогнозировании урожая семян хвойных пород // Лесн. журн. 1985. № 1. С. 22–27. (Изв. высш. учеб. заведений).

10. Царев А.П., Лаур Н.В. Вопросы и проблемы плюсовой селекции // Лесн. вестн. 2006. № 5. С. 118–123.

Поступила 28.06.10

N.N. Besschetnova

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy

Fat Content in Shoot Cells of Scotch Pine Elite Trees

Hereditary nature of differences of Scotch Pine elite trees in fat content in the cells of annual shoots has been determined. Dispersion of various levels has been detected on seed plantations and in clone archives of the Nizhny Novgorod region. Environmental factors made a considerable impact on the variety noted above.

Key words: scotch pine, elite trees, clones, fat content.

УДК 630*232.411.11

Н.Р. Сунгурова¹, Р.В. Сунгуров²

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

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

Сунгурова Наталья Рудольфовна окончила в 2001 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и ландшафтного строительства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 20 научных работ в области искусственного лесовосстановления.

E-mail: nsungurova@yandex.ru



Сунгуров Рудольф Васильевич родился в 1951 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства. Имеет более 80 научных работ в области лесовосстановления и лесоправления.

E-mail: sungurov@ptl-arh.ru



ВЫРАЩИВАНИЕ КУЛЬТУР СОСНЫ НА ЛУГОВИКОВОЙ ВЫРУБКЕ СЕВЕРНОЙ ПОДЗОНЫ ТАЙГИ

Изучены 25-летние опытные лесные культуры сосны, заложенные на 6-летней луговиковой вырубке. Приведен анализ роста и сохранности искусственно созданных молодняков. Даны рекомендации для формирования высокопродуктивных древостоев необходимого породного состава в целях сокращения оборота рубки, увеличения выхода деловой древесины, повышения качества в условиях северной подзоны тайги.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, луговиковая вырубка, северная подзона тайги.

Как показывает практический опыт последних 3–4 десятилетий, на долю луговиковых вырубок приходится 45 % лесокультурного фонда [5]. Данные вырубки являются наиболее привлекательными для специалистов лесного хозяйства, так как позволяют до минимума сократить расходы на создание лесных культур посредством применения простейших лесокультурных приемов – минерализации почвы, посева или посадки. Основной объем лесокультурного фонда приходится на вырубки из-под спелых и перестойных ельников, которые в большинстве своем поражены корневой губкой. Поэтому для борьбы с болезнями леса требуется антропогенное воздействие, в том числе посредством принудительной смены пород при закладке лесов будущего.

Изучены 25-летние опытные лесные культуры сосны, заложенные на 6-летней луговиковой вырубке. Лесные культуры созданы в Холмогорском лесничестве Архангельской области (северная подзона тайги) в 1983 г. сотрудниками лаборатории лесных культур Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства.

На участке опытных лесных культур проведена полосная корчевка пней и расчистка от порубочных остатков и валежа толкателем клиновидным ТК-1,2. При этом вместе с древесными остатками удалены часть лесной подстилки и верхние органогенные горизонты почвы, в результате чего был довольно сильно обнажен минеральный горизонт, местами образованы микропонижения. Следует отметить, что без корчевки невозможно механизировать весь процесс создания лесных культур, в том числе обработать почву орудиями фрезерного типа, или создать качественные микроповышения орудиями различных конструкций. Почва на участке – среднеподзолистая песчаная на водно-ледниковых песках длительного избыточного увлажнения грунтовыми водами – обработана фрезой ФБН-0,9. По обработанным полосам посадка проведена двухлетними сеянцами сосны из полиэтиленовых теплиц машиной СЛГ-1. По необработанной почве сеянцы из той же партии высажены вручную, под лопату. На второй год выращивания все культуры сосны дополнены вручную двухлетними сеянцами, выращенными по той же технологии. Каждому растению сосны присвоен номер в натуре и учетной ведомости. До посадки сеянцы сосны сортировались по относительной массе [6]. Наиболее представленная по количеству группа растений с относительной массой 0,4...1,2 использовалась как стандартный посадочный материал. Растения с относительной массой более 1,2 отнесены к отборному посадочному материалу. Сильно отставшие в росте сеянцы с относительной массой до 0,4 и больные отбракованы. Непосредственно перед посадкой вносились полные минеральные удобрения в дозе N300P120K90 по действующему веществу. Удобрения вносили только в обработанную почву вразброс. На 2- и 3-й годы выращивания культур проведены агротехнические уходы, которые заключались в рыхлении почвы и окашивании травы мотыгой в рядах высаженных растений.

Механическая обработка существенно изменяет водный, пищевой, температурный и другие режимы почвы. Известно, что удаление напочвенного покрова и подстилки, имеющих низкую теплопроводность, а также обнажение минеральных горизонтов и перемешивание их с органогенными способствует лучшему прогреванию почвы [2]. Это особенно важно для условий Севера. Различия в интенсивности прогревания обработанной и целинной почв обусловлены, прежде всего, мощностью, физико-механическими и тепловыми свойствами лесных подстилок и торфянистых горизонтов. Наибольший эффект в тепловой мелиорации достигнут при интенсивной механической обработке почв, обладающих мощным рыхлым органогенным горизонтом.

Динамика изменения температуры целинной и обработанной почв на опытном участке изучалась периодически в разные годы выращивания культур на глубине 5, 10, 20 и 30 см. Результаты исследования (табл. 1) показали, что разница температур на фрезерованных полосах и целине сохраняется, по крайней мере, до 20 лет. Наибольшие различия отмечаются в верхнем 5-сантиметровом слое почвы, с глубиной различия по температуре сглаживаются.

Таблица 1

Динамика температуры почвы на участке опытных культур

Возраст культур, лет	Сроки наблюдения	Температура, °С, на глубине, см			
		5	10	20	30
1	21.06–25.06	<u>10,3</u>	<u>9,1</u>	<u>8,0</u>	<u>8,2</u>
		9,1	8,8	8,9	8,3
	4.07–09.07	<u>20,0</u>	<u>18,2</u>	<u>15,9</u>	<u>14,8</u>
2	11.06–16.06	16,8	15,6	14,8	13,3
		<u>14,4</u>	<u>12,7</u>	<u>10,0</u>	<u>9,2</u>
	11,7	11,3	9,8	8,7	
	16.07–21.07	<u>21,7</u>	<u>19,5</u>	<u>17,3</u>	<u>15,4</u>
	20.08–25.08	18,2	17,1	15,6	13,9
		<u>12,2</u>	<u>11,2</u>	<u>10,8</u>	<u>10,5</u>
3	10.06–15.06	11,6	10,7	10,6	9,9
		<u>15,7</u>	<u>12,5</u>	<u>10,3</u>	<u>8,9</u>
	11,4	8,3	6,1	5,4	
	1.07–06.07	<u>12,8</u>	<u>11,1</u>	<u>10,3</u>	<u>10,1</u>
	22.07–27.07	11,8	10,4	9,7	9,3
		<u>19,2</u>	<u>16,8</u>	<u>15,3</u>	<u>14,6</u>
	12.08–17.08	17,2	14,1	13,6	12,1
		<u>18,2</u>	<u>16,2</u>	<u>14,8</u>	<u>14,7</u>
	2.09–07.09	16,8	14,4	13,6	13,5
<u>14,5</u>		<u>12,5</u>	<u>11,3</u>	<u>10,2</u>	
4	27.05–31.05	12,7	11,8	10,6	10,7
		<u>9,1</u>	<u>7,8</u>	<u>6,7</u>	<u>5,9</u>
	8,1	6,9	6,2	5,8	
	16.06–21.06	<u>14,5</u>	<u>12,9</u>	<u>11,2</u>	<u>10,4</u>
		13,8	12,2	11,0	10,5
	7.07–12.07	<u>17,1</u>	<u>15,3</u>	<u>13,8</u>	<u>12,3</u>
		15,8	14,2	12,7	11,9
	28.07–02.08	<u>19,4</u>	<u>17,2</u>	<u>15,4</u>	<u>14,0</u>
		18,3	16,8	15,1	13,8
	18.08–23.08	<u>11,4</u>	<u>10,5</u>	<u>10,4</u>	<u>10,0</u>
10,5		9,7	9,6	9,7	
20	28.07–02.08	<u>23,9</u>	<u>15,9</u>	<u>14,8</u>	<u>13,6</u>
		22,6	14,9	13,8	13,2
	18.08–23.08	<u>14,4</u>	<u>13,3</u>	<u>12,6</u>	<u>12,2</u>
		13,3	12,5	12,0	11,5

Примечание. В числителе приведены данные для фрезерованной полосы, в знаменателе – для целины.

На луговиковых вырубках из-под черничных типов леса подзолистые супесчаные гумусово-иллювиальные и подзолистые легкосуглинистые почвы формируются обычно на двучленных наносах, верхняя (кроющая) часть которых имеет более легкий механический состав, нижняя – более тяжелый. Для верхних горизонтов характерны меньшая объемная масса, большая пористость, лучшая водопроницаемость и аэрируемость, чем для нижних (табл. 2). Это в значительной степени определяет водно-воздушный режим почв и, в частности, объясняет возникновение верховодок в кроющей части двучлена. В подстилке сосредоточено наибольшее количество органического вещества, валовых и доступных форм азота, фосфора и калия (табл. 3). В подзолистом и иллювиальном горизонтах содержание гумуса не превышает 1,5...2,0 %, реакция почвы верхних горизонтов сильноокислая, насыщенность щелочно-земельными основаниями менее 30 %, доступных форм питательных элементов мало. С глубиной реакция среды почвы доходит до слабокислой.

Таблица 2

Водно-физические свойства почвы на участке опытных культур

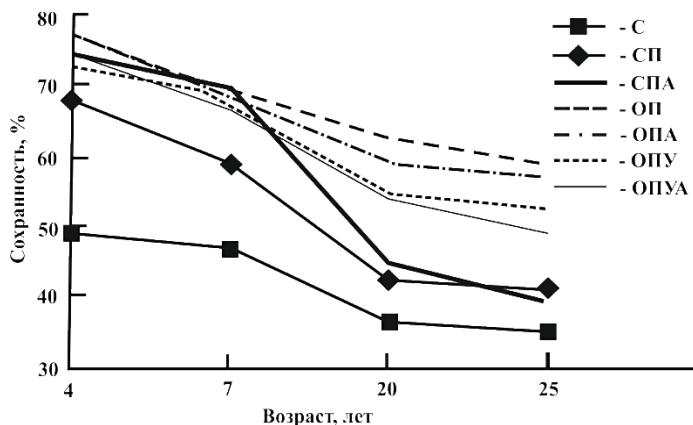
Горизонт	Глубина, см	Плотность сложения	Удельная масса	Общая пористость	Полная влагоемкость
		г/см ³		%	
A ₀	0...6	–	–	–	–
A ₂	6...17	1,29	2,59	50	30
A ₂ B	17...36	1,42	2,60	45	32
B ₁	36...73	1,58	2,64	40	25
B ₂	73...100	1,62	2,69	40	25
C ₁	100...123	1,60	2,66	40	25
C ₂	123...145	1,64	2,66	38	23

Таблица 3

Химические свойства почвы на участке опытных культур

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Общий азот, %	pH солевой суспензии	Подвижные формы, мг/100 г почвы	
					P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₀	0...6	17,3	0,40	4,2	8,0	36,0
A ₂	6...17	0,62	0,02	3,7	1,3	2,2
A ₂ B	17...36	0,58	0,02	4,9	10,7	2,2
B ₁	36...73	0,16	0,01	4,4	33,0	1,5
B ₂	73...100	0,30	0,02	4,0	25,5	4,0
C ₁	100...123	0,02	0,004	4,6	16,2	1,0
C ₂	123...145	0,03	0,004	4,6	23,2	1,3

Наблюдения показали, что в первые годы жизни культур почва верхних слоев на фрезерованных полосах менее увлажнена в период вегетации, чем на целине. Однако данный фактор в северной подзоне тайги, где осадки преобладают над испарением, не лимитирует потребность лесных культур во влаге.



Динамика сохранности культур сосны, созданных по разным технологическим схемам: С – сортированные семена, О – отборные семена, П – обработка почвы лесокультурными орудиями, У – стартовое внесение минеральных удобрений, А – агротехнические уходы на 2- и 3-й годы

Посадки сеянцев без обработки почвы в первые годы жизни хуже приживаются (см. рисунок).

Этот результат обусловлен, как отмечалось выше, достаточно хорошей прогреваемостью фрезерованных полос в период вегетации растений и улучшенными показателями водно-воздушного режима по сравнению с целиной. Причем закономерные различия в степени прогревания почвы сравниваемых вариантов, зафиксированные в первые 5 лет после закладки лесных культур, сохраняются с течением времени.

К 25 годам сохранность культур сосны по всем вариантам понизилась и составляет 35,3...58,5 %. В большей мере это обусловлено интенсивным снеголомом деревьев, наблюдавшимся в 2001 г. и 2007 г. Количество оставшихся здоровых деревьев сосны колеблется по вариантам в пределах от 1,4 до 2,3 тыс. шт./га.

При изучении динамики разрастания травянистой растительности на обработанной почве в данных условиях отмечено, что при качественной механической обработке почвы развитие напочвенного покрова происходит медленно и в первые 3–4 года лесные культуры не нуждаются в агротехнических уходах [3]. Вследствие слабого нарастания биомассы травостоя агротехнические уходы в этих условиях не повышают приживаемости и не усиливают рост лесных культур. Соотношение диаметра и высоты древесных растений в разных вариантах и в разные годы изменяется в узких пределах и указывает на отсутствие необходимости их проведения.

Посадки сеянцев без обработки почвы в первые годы жизни растут в высоту в 1,5 раза медленнее и отстают по диаметру в 1,9 раза (табл. 4). К 25 годам эти различия снижаются. В результате средние значения высоты в культурах сосны на необработанной почве меньше в 1,3 раза, диаметра – в 1,6 раза в сравнении с культурами, произрастающими на фрезерованных полосах.

Таблица 4

**Динамика роста культур сосны,
созданных по разным технологическим схемам, на участке опытных культур**

Технологическая схема	Показатели роста культур в возрасте, лет							
	4		7		20		25	
	<i>H</i> , см	<i>D</i> *, см	<i>H</i> , см	<i>D</i> *, см	<i>H</i> , м	<i>D</i> , см	<i>H</i> , м (<i>M</i> ± <i>m</i>)	<i>D</i> , см (<i>M</i> ± <i>m</i>)
С	27,4	0,53	62,0	1,32	4,2	3,50	6,4±0,02	5,2±0,03
СП	37,0	0,71	90,0	2,04	5,5	5,90	8,4±0,01	8,4±0,03
СПА	31,7	0,64	81,9	1,83	5,8	6,00	8,2±0,01	8,0±0,02
ОП	33,6	0,84	103,7	2,57	6,5	8,00	9,6±0,01	10,9±0,02
ОПА	40,6	0,90	108,1	2,58	5,9	6,40	8,8±0,01	9,2±0,03
ОПУ	36,5	0,75	98,8	2,29	6,2	6,90	8,5±0,01	8,7±0,02
ОПУА	41,7	0,74	105,3	2,22	6,2	7,00	9,2±0,01	10,0±0,02

*Диаметр у шейки корня.

Отборные сеянцы растут заметно быстрее несмотря на то, что доля средних по размерам растений значительна и в отдельных партиях посадочного материала достигает 75 %. Так, высота отборных сеянцев по сравнению со стандартными больше в 1,2–1,5 раза, диаметр – в 1,4–2,1 [7]. Отборные сеянцы более устойчивы к неблагоприятным факторам среды, таким как наличие травянистых растений в фазе приживания лесных культур и лиственных пород в фазе индивидуального роста и развития. Как показывают многократные опыты, при выдержанных параметрах отбора посадочного материала перед посадкой рост лесных культур усиливается. Различия в стартовых позициях стандартных и отборных сеянцев, обусловленные качеством посадочного материала, сохраняются в изучаемых культурах на фрезерованных полосах до 25 лет. Деревья сосны из отборного посадочного материала обгоняют в росте по высоте и диаметру культуры из стандартных сеянцев соответственно на 14 и 30 %.

Стартовое внесение полных минеральных удобрений в дозе N300P120K90 одновременно с посадкой не дает положительного результата. От внесения азотных удобрений в этот период вероятнее ожидать ухудшения приживаемости, особенно при низкой влажности почвы. Стартовое внесение минеральных удобрений в испытываемой дозе в этих условиях вносить нецелесообразно, так как затраты не окупаются. Возможно эффект от их применения может быть получен при использовании других доз, но это не входит в задачи наших исследований.

На участке лесных культур изучался также ход естественного лесовозобновления в 25-летнем возрасте. Лиственный ярус представлен в основном березой в количестве 5020 шт./га. Береза имеет средние значения по высоте 6,0 м, диаметру 6,7 см, запас ствольной древесины 57,1 м³/га. Рассматривая результаты формирования сосново-березового древостоя на луговиковой вырубке, следует отметить, что к 25 годам сосна на 63...73 % опережает в росте березу, появившуюся в последующие годы, и растет по II классу бонитета, имея

запас стволовой древесины 147 м³/га [8]. Следует подчеркнуть, что древостой естественного происхождения в данных лесорастительных условиях формируются по III классу бонитета. Преимущество искусственных насаждений перед естественными молодняками подтверждается и данными, полученными Н.А. Бабичем для условий средней подзоны тайги [1]. Общий состав древостоя 7СЗБ. Количество сосны, составляющее 1412...2340 шт./га, позволит обеспечить к возрасту главной рубки формирование хвойного по составу древостоя.

Лесоводственные уходы на изучаемом объекте не проводились. Вместе с тем, исследования в этом направлении показывают, что главная цель рубок ухода в сосновых молодняках, произрастающих в наиболее производительном черничном типе леса, не допускать формирования березово-сосновых насаждений [9]. Авторы рекомендуют проводить разреживание таких молодняков и отмечают, что для формирования целевого состава насаждений искусственного происхождения к 25–30 годам должно оставаться 1,0...1,1 тыс. шт./га деревьев сосны и 0,2 тыс. шт./га деревьев березы. Поэтому для искусственных сосняков с небольшой примесью лиственных пород потребность в данных уходах уже наступила, и в последующие годы рубки ухода будут проведены. Более того, Н.С. Минин [4] отмечает, что удаление лиственных пород и некоторой части хвойных при проведении рубок скажется на накоплении надземных элементов фитомассы оставшейся частью насаждения. Стволовая масса культур на участках, пройденных рубками ухода, накапливается быстрее, чем на непройденных. Это приведет в дальнейшем к выходу более крупных сортиментов.

Таким образом, для формирования высокопродуктивных древостоев необходимого породного состава в целях сокращения оборота рубки и увеличения выхода деловой древесины в условиях северной подзоны тайги, на месте коренных ельников, целесообразно создавать лесные культуры сосны. Достичь высоких результатов можно посредством применения основных лесокультурных приемов – обработки почвы и посадки качественного посадочного материала. В результате к 25 годам культуры сосны будут иметь II класс бонитета и запас около 150 м³/га. Последующие работы по формированию древостоев лесоводственными приемами позволят улучшить качество выращиваемых насаждений искусственного происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А. Продуктивность культур сосны на Европейском Севере // Лесн. журн. 1994. № 2. С. 14–17. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Варфоломеев Л.А., Пигарев Ф.Т., Сенчуков Б.А. Изменение температурного режима почв заболоченных вырубок под воздействием обработки их под лесные культуры // Тез. Всесоюз. совещ. по вопросам питания древесных растений и повышения продуктивности насаждений, 23–27 сент. 1969 г. Петрозаводск, 1969. С. 76–77.
3. Динамика разрастания травянистой растительности на обработанной почве вырубок северной подзоны тайги /В.Д. Козловский [и др.] // Флора Севера и расти-

тельные ресурсы европейской части СССР / Тез. докл. науч. сессии. Архангельск, 1987. С. 92–94.

4. Минин Н.С. Особенности накопления органического вещества в наземной части культур сосны под влиянием рубок ухода // Проблемы экологии на Европейском Севере: сб. науч. тр. Архангельск, 1992. С. 35–38.

5. Основные положения организации и развития лесного хозяйства в Архангельской области / С.В.Торхов [и др]. Архангельск: Арханг. лесоустроит. экспедиция, 2004. 369 с. (Утв. 11.01.2005 г. протоколом совещания у заместителя руководителя Рослесхоза В.В. Нефедьева).

6. Пигарев Ф.Т., Беляев В.В., Сунгуров Р.В. Комплексная оценка качества посадочного материала и его применение на Европейском Севере: методические указания. Архангельск, 1987. 16 с.

7. Рост, изменчивость и строение культур сосны, созданных разными сеянцами / Ф.Т. Пигарев [и др.]// Вопросы экономики лесного хозяйства и лесоустройства на Европейском Севере. Архангельск, 1987. С. 104–110.

8. Таблицы хода роста сосново-березовых насаждений в северной подзоне тайги // Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР) / отв. ред. В.В. Загреев. Архангельск, 1986. 360 с.

9. Чибисов Г.А., Вялых Н.И., Минин Н.С. Рубки ухода за лесом на Европейском Севере: практ. пособие. Архангельск, 2004. 128 с.

Поступила 17.02.10

N.R. Sungurova¹, R.V. Sungurov²

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

²Northern Scientific-research Institute of Forestry

Results of Pine Growing in Meadow Felling Areas of the Northern Boreal Subzone

25-year forest test pine cultures on a 6-year meadow felling area have been studied. An analysis of growth and preservation of young pine cultures has been carried out. Recommendations are given on forming high-productive stands of the necessary species composition in order to reduce felling rotation, increase timber yield and improve its quality under conditions of the northern boreal subzone.

Key words: forest cultures, pine, meadow felling area, northern boreal subzone.

УДК 630*232

Н.М. Дебков

Томский государственный университет

Дебков Никита Михайлович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Томский государственный университет, аспирант и ассистент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Томского государственного университета. Имеет 3 статьи в области формирования древостоев из сохраненного при рубках леса подроста, изучения его количественных и качественных характеристик.
E-mail: debkovnikita@mail.ru



О ВЛИЯНИИ СТРОЕНИЯ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ИХ ТОВАРНУЮ СТРУКТУРУ

Проведены исследования по изучению культур сосны обыкновенной для условий подтайги Томской области; изучено влияние строения культур сосны на их товарную структуру.

Ключевые слова: культуры сосны, товарная структура, строение по таксационному диаметру, временные пробные площади.

Исследования товарности насаждений всегда отличаются актуальностью и вызывают особый интерес у ученых и производственников. Многочисленные изыскания в этой области показали, что определяющее значение для товарной структуры древостоя имеет строение по ряду важнейших таксационных признаков, главным из которых является распределение деревьев по таксационному диаметру [5, 6]. При этом выяснилось, что их распределение зависит от происхождения насаждений [7].

Вопросу строения культур, особенно сосновых [1–4, 8 и др.], уделяется большое внимание. Установлено, что оно отличается от такового для естественных насаждений, что требует дифференцированно подходить к их таксации. Однако до сих пор на практике при таксации искусственных древостоев пользуются таблицами, которые составлены на основании данных, собранных в естественных древостоях. Ярким примером этого служат проводимые лесохозяйственные мероприятия в пригородных лесах г. Томска. При этом ошибки таксации культур с использованием существующих таблиц значительны как при определении общего объема, так и выхода деловой древесины по отдельным категориям крупности.

С учетом изложенного выше было решено провести исследование по строению сосновых культур и определить характер его влияния на ошибки в определении товарной структуры при использовании действующих лесотаксационных таблиц, материалом которых являлись естественные насаждения.

Модельными объектами были выбраны сосновые культуры II (35 лет) и III (53 года) классов возраста, наиболее характерного и распространенного типа леса разнотравного и типа условий местопроизрастания – свежая суборь В₂, в которых лесохозяйственные мероприятия проводятся в настоящий момент и планируются в будущем.

Основу методического подхода составил метод временных пробных площадей (ВПП) с взятием модельных и учетных деревьев в достаточном количестве. Всего было заложено и протаксировано 7 ВПП: 3 шт. (Б1 – Б3) – в 35-летних, 4 шт. (А1 – А4) – в 53-летних культурах. При проведении перечислительной таксации обмерено 1132 и 1912 шт. деревьев соответственно. Следует отметить, что пересчет произведен в абсолютных значениях с точностью до 1 мм, что позволило выявить распределение стволов внутри общепринятых в лесном хозяйстве ступеней толщины (2- и 4-сантиметровых). Результаты измерений таксационных диаметров были статистически обработаны по общепринятым в лесной таксации методикам [7]. Так как не было выявлено достоверных различий между средними значениями разных выделов представленных ВПП в пределах каждого возраста ($t_d < t_{st}$), то были рассчитаны статистические показатели для объединенных совокупностей (табл. 1).

Таблица 1

Статистики и критерии кривой распределения деревьев по диаметру в 35- и 53-летних культурах сосны

Возраст культуры, лет	$M \pm m_m$, см	σ , см	C.V., %	P, %	As	Ex	t_{As}	t_{Ex}
35	14,69±0,12	4,01	27,28	0,81	1,53	-0,24	21,08	1,66
53	23,31±0,11	4,96	21,29	0,49	1,52	-0,35	27,69	1,61

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что приведенное распределение в 35-летних культурах обладает значительной положительной асимметрией и отрицательным эксцессом. Это, с одной стороны, свидетельствует о преобладании в насаждении маломерных стволов, с другой – об однородности распределения по диаметру.

Коэффициент асимметрии превышает свою ошибку более чем в 3 раза и определяет отличие данного распределения от кривой нормального распределения. При этом кривая распределения сводной совокупности не описывается кривой нормального распределения (критерий согласия – Хи-квадрат $\chi^2 = 13,61 > \chi^2_{0,99} = 9,20$).

Изучению строения древостоя 53-летних культур сосны в нашей работе уделено ключевое внимание, поскольку именно в них на сегодняшний день проводятся рубки ухода. Проанализировав эти данные можно констатировать, что распределение по диаметру в 53-летних культурах также характеризуется значительной правосторонней асимметрией и отрицательным эксцессом. Статистическая обработка экспериментального материала показала, что

Таблица 2

Распределение числа деревьев в 35- и 53-летних культурах сосны по естественным ступеням толщины

Возраст культуры, лет	Номер ВПП	Естественные ступени толщины															
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
35	Б1	-	1,8	5,8	13,7	10,6	12,7	14,0	12,4	12,1	9,0	5,0	2,4	0,5	-	-	-
	Б2	0,3	2,0	6,6	9,9	13,9	13,9	15,2	11,1	10,9	6,3	3,6	2,5	2,5	1,0	0,3	-
	Б3	0,3	1,4	5,6	12,6	11,4	15,4	13,1	13,7	8,1	8,9	3,6	3,6	1,1	0,6	0,3	0,3
53	А1	-	0,4	3,4	8,5	11,9	17,1	17,9	17,7	11,9	7,6	3,1	0,5	-	-	-	-
	А2	0,3	-	3,1	8,8	13,6	15,9	14,6	19,3	14,9	6,1	2,7	0,7	-	-	-	-
	А3	-	1,0	4,4	9,3	11,2	14,3	17,6	18,5	14,0	6,3	2,1	1,0	0,3	-	-	-
	А4	-	0,4	4,5	9,8	14,5	15,9	13,7	15,1	13,3	7,5	2,9	1,8	0,6	-	-	-

коэффициент асимметрии превышает свою ошибку более чем в 3 раза, т.е. данное распределение отлично от распределения по нормальному закону. В последующем это подтвердилось при проверке эмпирического распределения с использованием критерия согласия ($\chi^2 = 19,06 > \chi^2_{0,999} = 18,50$).

Изучение распределения деревьев по 4-сантиметровым ступеням толщины показало, что средний диаметр приходится на 16-ую ступень толщины, а мода – на 12-ую, что подтверждает асимметричный характер распределения. Интересно отметить, что распределение деревьев внутри 4-сантиметровых ступеней толщины подвержено определенной закономерности, которая выражается в следующем: с увеличением ступеней толщины происходит перераспределение доли деревьев, составляющих нижнюю и верхнюю части ступеней. В ступенях толщины до той, где находится средний диаметр, преобладает верхняя часть; в тех же, которые больше средней ступени толщины, наоборот, – нижняя. При этом равенство наблюдается в той ступени толщины, где находится средний диаметр.

По нашим данным (табл. 2), распределение диаметров по естественным ступеням толщины в 35-летних культурах включает 16 ступеней. Распределение характеризуется скученностью, потому что в пяти центральных, наиболее представленных ступенях толщины содержится 64,5 % деревьев. Следует отметить, что размах варьирования процентного участия этих ступеней небольшой и равен 2,1 %, это свидетельствует об однородности распределения диаметров большей части насаждения.

Выявленное распределение внутри 4-сантиметровых ступеней толщины нашло подтверждение и в 53-летних культурах. Установлено, что оно более сжато по сравнению с распределением в молодняках. Это указывает на общий характер этой закономерности.

Отмеченная в 35-летних культурах скученность проявляется и в представленных культурах. В пяти центральных, наиболее представленных ступенях толщины содержится 75,5 % деревьев, что на 10,0 % больше, чем в молодняках. Это указывает на большую однородность в распределении по диаметру.

Чтобы выяснить характер влияния особенностей строения культур на их товарную структуру, на двух ВВП (по одной для каждого возраста) было взято по 19 шт. модельных и учетных деревьев. Раскряжевку хлыстов вели в соответствии с действующим ГОСТом на лесоматериалы круглые хвойных пород [5]. В связи с тем, что методика подбора учетных деревьев лишена субъективности, они были взяты в качестве контрольных (табл. 3).

Таблица 3

**Запас и товарная структура 35- и 53-летних культур сосны
при разных способах товаризации**

Товарная структура	По учетным деревьям	По сортиментным таблицам
35-летние культуры		
Крупная	0,06 / 0,02	0,12 / 0,03
Средняя	71,47 / 20,13	102,82 / 26,57
Мелкая	209,00 / 58,85	203,82 / 52,67
<i>Итого деловая</i>	280,53 / 79,00	306,76 / 79,27
Дрова	44,00 / 12,39	26,94 / 6,96
Отходы	30,59 / 8,61	53,29 / 13,77
Всего	355,12 / 100,00	386,99 / 100,00
53-летние культуры		
Крупная	76,14 / 14,08	52,12 / 9,29
Средняя	308,58 / 57,07	322,28 / 57,42
Мелкая	97,96 / 18,12	94,14 / 16,76
<i>Итого деловая</i>	482,68 / 89,27	468,54 / 83,47
Дрова	23,80 / 4,41	27,16 / 4,84
Отходы	34,20 / 6,32	65,60 / 11,69
Всего	540,70/100,00	561,30/100,00

Примечание. В числителе – объем в метрах кубических, в знаменателе – доля в процентах.

Таким образом, проанализировав экспериментальные данные для 35-летних культур, можно сделать вывод, что правосторонняя асимметрия и связанное с ней преобладание маломерных стволов в насаждении привели к перераспределению по категориям крупности в товарной структуре: по сравнению с табличными данными снижен выход средней древесины на 6,44 %, но выше выход мелкой – 6,18 %.

Несколько иная ситуация складывается в 53-летних культурах: выход крупной древесины по сортиментным таблицам занижен на 4,79 % по сравнению

с истинным по учетным деревьям. Объяснение этому кажущему противоречию мы видим в высокой однородности в распределении по толщине и в том, что процесс интенсивного самоизреживания для данного древостоя уже позади.

Подводя итог проведенному исследованию, считаем необходимым сделать обобщающий вывод: поскольку благодаря исследованиям ряда ученых, включая и наше, доказано, что строение по таксационному диаметру культур достоверно отличается от естественных насаждений, то возникает необходимость разработки соответствующих лесотаксационных нормативов для культур. Однако из наших данных следует, что влияние строения культур на товарность с возрастом элиминируется, прекращаясь к возрасту спелости, т.е. можно ограничиться составлением таксационных таблиц для молодняков и средневозрастных древостоев, если в данном регионе проводятся рубки ухода в значительных объемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич Н.А.* Некоторые вопросы изменчивости диаметров деревьев в культурах сосны // Лесн. журн. 1980. № 6. С. 7–9. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Багинский В.Ф.* Строение сосновых молодняков искусственного происхождения по видовому числу и второму коэффициенту формы q_2 // Лесохозяйственная наука и практика. Минск, 1973. Вып. 23. С. 190–194.
3. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С.* Влияние густоты на морфоструктуру и продуктивность культур сосны // Лесоведение. 1999. № 3. С. 38–43.
4. *Габеев В.Н.* Продуктивность культур сосны. Новосибирск: Наука, 1982. 192 с.
5. ГОСТ 9463–88. Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1988. 12 с.
6. *Ковальков А.И.* Закономерности распределения деревьев по естественным ступеням толщины в сосновых древостоях // Лесоведение и лесн. хоз-во. Минск, 1978. Вып. 13. С. 128–131.
7. *Плохинский Н.А.* Биометрия. М.: Изд-во Мос. гос. ун-та, 1970. 368 с.
8. *Свалов Н.Н., Свалов С.Н.* О динамике рядов распределений диаметров стволов в одновозрастных сосняках // Лесоведение. 1973. № 5. С. 58–62.
9. *Соловьев В.М., Соловьева Ф.Р.* Особенности строения сосновых молодняков различного происхождения и пути улучшения их таксации и состояния // Лесоустройство и лесн. таксация. Красноярск, 1979. С. 7–14.
10. Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири / Э.Н. Фалалеев [и др.]. Новосибирск, 2005. 176 с.
11. *Успенский В.В.* Итоги 60-летних наблюдений культур сосны // Лесн. хоз-во. 1995. № 3. С. 48–50.

Поступила 16.10.09

N.M. Debkov

Tomsk State University

On Effect of Structure of Scotch Pine Cultures on their Commodity Composition

The questions of pine stands structure had been given much attention to. However, no such researches had practically been conducted for the Tomsk region sub-taiga, which necessitated researches on Scotch Pine cultures on this territory. As a result of the researches conducted, the effect of structure of pine cultures on their commodity composition was described.

Key words: pine cultures, commodity composition, structure according to inventory diameter, temporary test areas.



УДК 630*432

С.Н. Орловский¹, А.И. Карнаухов²

¹Красноярский государственный аграрный университет

²Сибирский государственный технологический университет

Орловский Сергей Николаевич родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Красноярский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Красноярского государственного аграрного университета. Имеет более 200 печатных работ в области динамики лесохозяйственных агрегатов и их конструирования, резания грунтов, механизации тушения лесных пожаров.

E-mail: orlovskiysergey@mail.ru



Карнаухов Андрей Иванович родился в 1979 г., окончил в 2002 г. Сибирский государственный технологический университет, доцент кафедры технологии и машин природообустройства и защиты окружающей среды Сибирского государственного технологического университета. Имеет около 20 печатных работ в области резания лесных почв активными рабочими органами фрезерного типа для прокладки минерализованных опорных полос при локализации лесных пожаров.

E-mail: Sky_angel_33@mail.ru



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ РОТОРНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ

Предложен методологический подход к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов лесопожарных агрегатов. Произведен выбор исследуемых параметров. Определено их влияние на толщину срезаемой стружки, углы резания и скольжения, а также на скорости резания и подачи для лесных почв. Представлены и проанализированы результаты теоретических расчетов энергоемкости прокладки минерализованных опорных полос.

Ключевые слова: резание, лесные почвы, торцовые фрезы, факторы, энергоемкость резания, экскавации, отбрасывания, древесные включения, баланс мощности, затраты энергии.

Разработка методики аналитического определения энергоемкости резания минеральных грунтов и лесной подстилки, определения конструктивных и геометрических параметров, а также режимов резания рабочих органов на стадии проектирования позволит повысить производительность орудий, снизить их массу, сократить сроки создания новой техники.

Целью исследований являются проведение теоретического анализа резания лесных почв активными рабочими органами; расчет оптимальных по критерию минимума энергоемкости режимов резания, конструктивных и геометрических параметров рабочих органов; определение оптимальных энергетических параметров лесопожарных агрегатов.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать влияние конструктивных и геометрических параметров активных рабочих органов лесохозяйственных агрегатов, а также режимов их работы на энергоемкость прокладки минерализованных полос.

2. Проанализировать затраты энергии на прокладку минерализованных противопожарных полос по элементам технологического процесса на основании математической модели технологического процесса резания и заданных в виде констант свойств почв.

3. Определить оптимальные режимы резания, конструктивные и геометрические параметры рабочих органов за счет варьирования скоростей резания и движения, углов резания и установки резцов, а также диаметров фрез и числа ножей.

Лесные почвы представляют собой двухфазную среду «лесная подстилка – грунт». Для нее теоретические основы расчета процессов резания грунтов с большей точностью могут быть заменены математическими зависимостями, основывающимися на законах теории упругости и пластичности, а также изложенными в теоретических работах В.К. Фомина и С.Н. Орловского [4, 5]. С учетом их развития авторами была разработана математическая модель резания торцевой фрезой лесных почв с древесными включениями, позволяющая определить удельные затраты энергии по элементам технологического процесса прокладки минерализованных полос [3].

Проведенный нами дисперсионный анализ факторов, влияющих на резание грунтов, выявил существенную зависимость энергоемкости процесса от следующих факторов [1]: β' – угол резания, приведенный к направлению подачи; α – угол наклона режущей кромки ножа относительно радиуса фрезерного диска торцевой фрезы; R_{ϕ} – радиус фрезы; z – число ножей; $V_{дв}$ – скорость движения агрегата; $V_{рез}$ – скорость резания.

С учетом значимости влияния факторов произведены расчеты энергоемкости резания лесных почв по элементам технологического процесса. В расчетах учтено, что возрастание толщины стружки свыше 25 мм приводит к прекращению ее скалывания и резанию почвы без отбрасывания [2]. Энергоемкость резания при этом возрастает, технологический процесс прекращается. На рис. 1 представлены конструкция торцевой фрезы, схема резания и зависимость угла резания от угла установки ножей.

Как следует из результатов испытаний, изменение скорости движения агрегата в пределах $0,2 \dots 1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости резания $8,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ не оказывает влияния на энергоемкость процесса резания лесной почвы. Повышение скорости резания приводит к возрастанию энергоемкости.

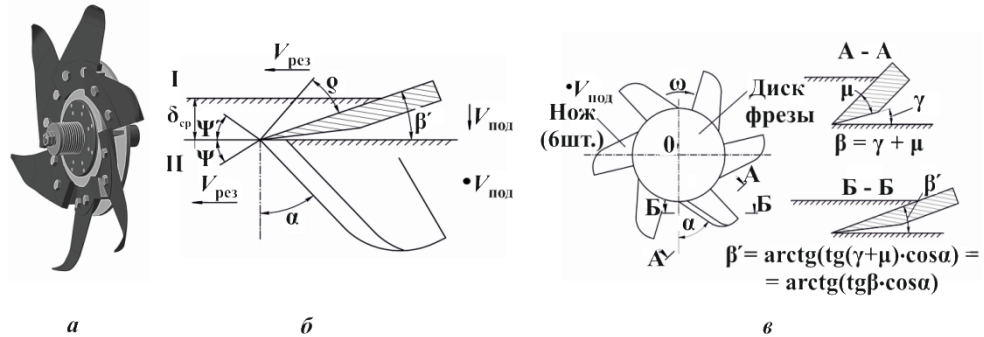


Рис. 1. Конструкция торцевой фрезы с ножами ФБН-410 лесопожарного агрегата (а), схема резания ножом (б) и влияние углов установки ножа на угол резания (в): I – резание в горизонтальной плоскости относительно продольной оси тракторного агрегата; II – в вертикальной плоскости, перпендикулярной его продольной оси

На рис. 2 приведены графики, отражающие влияние скоростей движения и резания на энергоёмкость экскавации подстилки и грунта.

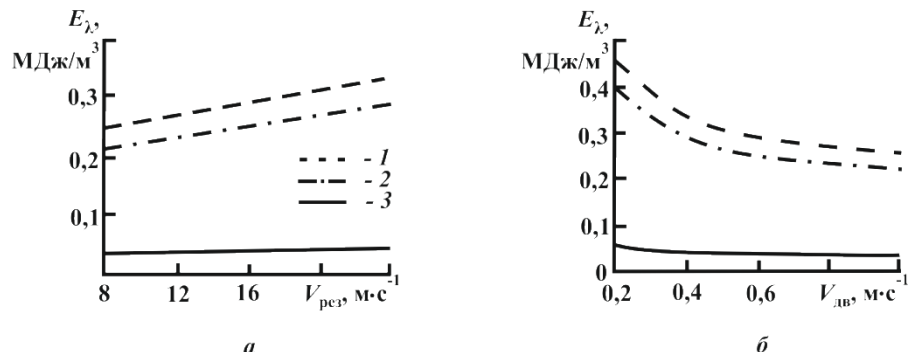


Рис. 2. Графики зависимости энергоёмкости E_{λ} экскавации почвы ножом фрезы от скорости резания $V_{рез}$ при $V_{дв} = 0,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (а) и от скорости движения $V_{дв}$ при $V_{рез} = 16,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (б)

Из приведенных на рис. 2, а графиков следует, что возрастание скорости движения от $0,2$ до $1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости резания $8,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ вызывает снижение энергоёмкости экскавации подстилки и грунта на 275 и 250 % соответственно. Изменение скорости резания (рис. 2, б) от $8,0$ до $24,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ при скорости движения $0,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ приводит к возрастанию энергоёмкости экскавации подстилки и грунта на 63 и 76 % соответственно, что можно объяснить увеличением затрат энергии на метание почвенной стружки с учетом действия инерционных сил. При этом: затраты мощности на экскавацию грунта в 6–10 раз больше, чем на лесную подстилку; затраты мощности на экскавацию грунта по сравнению с подстилкой возрастают при повышении скорости резания.

На диаграммах (рис. 3) представлено влияние скоростей движения (в диапазоне $0,2 \dots 1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) и резания ($8,0 \dots 24,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) на энергоёмкость прорезания древесных включений в лесных почвах и затрат мощности. Из представленных диаграмм следует, что затраты мощности на прорезание древесных включений практически не зависят от скорости движения, но находятся в прямой зависимости от скорости резания. При скорости движения $0,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и увеличении скорости резания от $8,0$ до $16,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ энергозатраты возрастают на 99, от $16,0$ до $24,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – на 48 %. Аналогичная зависимость отмечена и для скоростей движения $0,6$ и $1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

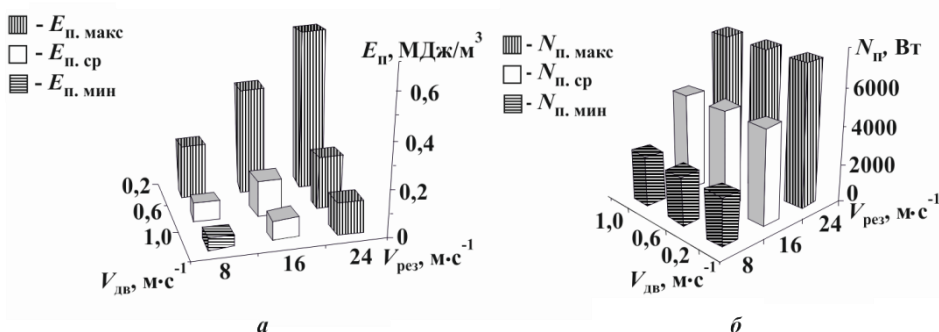


Рис. 3. Диаграммы зависимости энергоёмкости прорезания $E_{п}$ древесных включений в лесных почвах (а) и затрат мощности $N_{п}$ (б) от скоростей движения $V_{дв}$ и резания $V_{рез}$

Графики, приведенные на рис. 4, иллюстрируют, как влияют углы резания β' и установки ножей относительно радиуса фрезерного диска α на энергоёмкость процесса резания лесных почв.

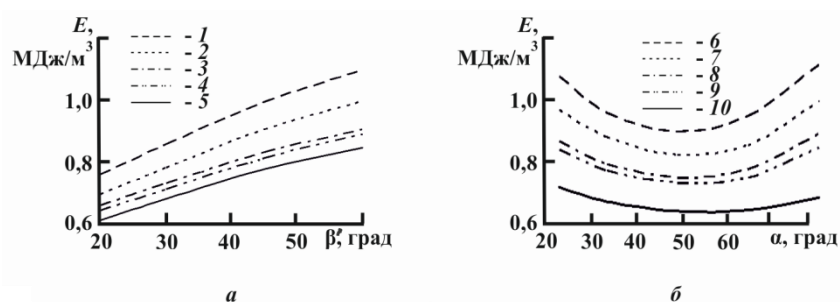


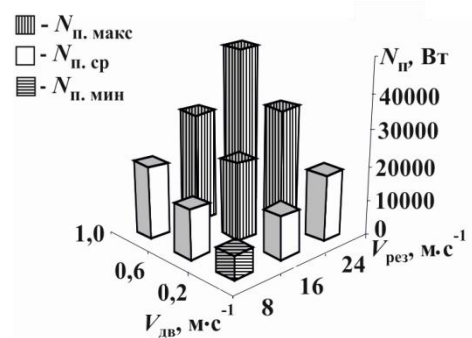
Рис. 4. Графики зависимости энергоёмкости процесса резания лесных почв E от угла резания β' (а) и угла наклона лезвия ножа относительно радиуса фрезерного диска α (б) при $V_{рез} = 8,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и $V_{дв} = 1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$: 1 – $\alpha = 0^\circ$; 2 – 15° ; 3 – 30° ; 4 – 60° ; 5 – 45° ; 6 – $\beta' = 60^\circ$; 7 – 45° ; 8 – 75° ; 9 – 30° ; 10 – 20°

Из данных рис. 4 следует, что увеличение угла α до $45 \dots 70^\circ$ снижает энергоёмкость резания почв, при дальнейшем его росте энергоёмкость возрастает. Объяснить снижение энергоёмкости можно скользящим резанием, при котором фактический угол заострения ножей уменьшается. Увеличение угла α в дальнейшем приводит к возрастанию пути трения грунта о лезвие ножа и, соответственно, росту затрат энергии на резание.

Уменьшение угла β' вызывает снижение энергоёмкости резания почв. Минимально допустимые значения угла β' обусловлены механической прочностью ножа и углом его установки относительно плоскости фрезерного диска.

Общий баланс мощности на резание лесных почв и выполнение технологического процесса представлен на рис. 5.

Рис. 5. Диаграммы зависимости затрат мощности на резание лесной почвы и выполнение технологического процесса от скоростей движения $V_{дв}$ и резания $V_{рез}$



Задача оптимизации, стоящая перед нами, решалась по критерию минимизации затрат энергии на прокладку опорных полос в лесных почвах торцовыми фрезами, при ограничениях на коэффициент загрузки, скорость движения и массу базовой машины. К вектору параметров оптимизации относились: число ножей z , радиус фрезерного диска $R_{ф}$, скорость резания $V_{рез}$, угол наклона α режущей кромки ножа относительно радиуса фрезерного диска и угол резания β' .

Для получения целевой функции (уравнения регрессии, описывающего процесс резания лесной почвы торцевой фрезой) использовали метод имитационного моделирования.

Для оптимизации параметров был применен метод сопряженных градиентов. В результате решения задачи оптимизации для параметрического ряда тракторов с мощностью двигателя (базовых машин) $15 \dots 115$ кВт нами были получены рациональные режимы резания и параметры торцовых фрез, представленные в таблице.

Рациональные режимы резания и параметры торцовых фрез

$N_{дв}$, кВт не более	$V_{дв}$, м·с ⁻¹ не более	$R_{ф}$, м	z , шт.	$V_{рез}$, м·с ⁻¹	α	β'
					град	
15	0,75	0,25	6	8	52...58	26
35	0,90	0,30	8	9		27
55	1,30	0,35	12	10		28
80	1,60	0,40	12	14		28
115	2,20	0,45	16	16		28

Выводы

1. Уменьшение скорости резания во всех случаях обеспечивает снижение затрат мощности на выполнение работ по резанию лесных почв, при этом пределы снижения скорости резания лимитируются толщиной срезаемой стружки и дальностью отбрасывания экскавированного грунта. Рациональная скорость резания составляет 8,0 м·с⁻¹.

2. Увеличение угла скольжения α до 45...65° позволяет снизить затраты мощности на резание, однако дальнейшее его повышение приводит к росту затрат мощности.

3. Уменьшение угла резания β' снижает затраты мощности, пределы уменьшения угла резания лимитируются прочностью ножей.

4. Результаты определения затрат энергии на резание лесных почв в зависимости от конструктивных параметров фрезерных рабочих органов и режимов их работы позволяют оценить затраты энергоёмкости и выбрать необходимые для выполнения технологического процесса мощности энергетических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карнаухов А.И. Лесопожарные агрегаты с торцовой фрезой. Концепция энергосбережения: моногр. для студентов, преподавателей и научных работников техн. вузов. Красноярск: СибГТУ, 2011. 220 с.
2. Мартыщенков В.В., Протасов А.В., Романович К.В. Экспериментальные исследования работы лесопожарного агрегата АЛК-25 // Лесные пожары и борьба с ними: сб. науч. тр. М.: ВНИИЛМ, 1988. С. 65–71.
3. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Теоретическое и экспериментальное исследование резания лесных почв фрезерными рабочими органами // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 16. С. 215–222.
4. Орловский С.Н. Повышение эффективности дискофрезерных щелерезных агрегатов обоснованием параметров: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2000. 154 с.
5. Фомин В.К., Фомина Г.В. Определение энергоёмкости процесса резания винтовой фрезой машины ММК-ПГ аналитическим методом // Торфяная пром-сть. 1972. № 10. С. 12–15.

Поступила 11.01.11

S.N. Orlovsky¹, A.I. Karnaukhov²

¹Krasnoyarsk State Agrarian University

²Siberian State Technological University

Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes

A theoretical approach to substantiate parameters and operating modes of rotary tools of forest fire extinguishing machines is described. The parameters for investigation are selected and studied to determine their influence on the thickness of chips, angles of cutting and slide, as well as cutting speed and feed rate for forest soil. The results of theoretical calculations of energy consumption when cutting fire lines are presented. The results obtained have been analyzed.

Key words: cutting, forest soil, face mill, factors, cutting energy consumption, excavations, kickbacks, wood inclusions, power balance, energy consumption.

УДК 629.114.2.056.3

В.Н. Лобанов

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Лобанов Валерий Николаевич родился в 1948 г., окончил в 1972 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет около 150 печатных работ в области совершенствования гусеничных лесных машин.
E-mail:eco-centr@online.bryansk.ru



ОЦЕНКА ОПОРНЫХ СВОЙСТВ ГУСЕНИЧНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН ПРИ РАБОТЕ НА СЛАБЫХ ПОЧВОГРУНТАХ

Проведено математическое моделирование взаимодействия гусеничных лесных машин; получено уравнение для оценки их опорных свойств при работе на слабых почвогрунтах.

Ключевые слова: почвогрунт, опорная длина гусеницы, ширина гусеницы, глубина колеи, коэффициент сопротивления уплотнению (смятию) почвогрунта.

Использование тяжелых многооперационных лесосечных машин высокой энергонасыщенности на лесозаготовках и проникновение их в регионы с почвогрунтами, имеющими низкую несущую способность, могут обострить экологическую обстановку при проведении лесосечных работ [1, 2, 4].

Назрела необходимость в разработке научно обоснованных методов оценки уплотняющего воздействия современных и перспективных машин на лесные почвогрунты с целью минимизировать уплотнение почвы при освоении лесосеки [2, 4, 5].

Как показывают опытные данные ряда исследователей [1, 2, 4, 5], взаимодействие гусеничных трелюзных систем с лесным почвогрунтом базируется на уплотнении почвы движителем с учетом его параметров и свойств лесной почвы. Уплотнение слабых почвогрунтов определяется опорными свойствами лесных машин [4, 5].

В ходе наших исследований планировалось оценить опорные свойства гусеничных лесных машин при работе на слабых почвогрунтах.

Опорные свойства гусеничной лесной машины главным образом зависят от максимальных давлений гусеницы на почвогрунт под опорными катками q_{\max} , опорной длины L и ширины b гусеницы. В свою очередь, максимальные давления q_{\max} зависят от отношения шага катков s к шагу звеньев гусениц t , числа опорных катков n и количества звеньев гусеницы n_1 , передающих нагрузку от опорных катков на почвогрунт [3, 4]:

$$q_{\max} = q_0 \left[\frac{(n-1)s + t}{n_1 t} \right], \quad (1)$$

где q_0 – среднее давление гусеницы на грунт, Н/м².

Количество звеньев n_1 , передающих нагрузку от опорных катков, определяется свойствами почвогрунта. Чем он слабее, тем больше звеньев участвует в передаче нагрузки от опорных катков, следовательно, меньше пиковое давление q_{\max} [4]. Из формулы (1) видно, что чем меньше отношение шага катков к шагу гусеницы, тем меньше максимальные давления в пиках под опорными катками. У современных сельскохозяйственных, промышленных и болотоходных гусеничных тракторов отношение $s/t = 1,7...3,5$, у лесных гусеничных тракторов $s/t > 3,5$.

Указанные показатели опорных свойств в основном определяют глубину колеи, т. е. деформацию почвогрунта после прохода гусеничной машины.

Определим глубину колеи гусеничной машины при работе на слабых почвогрунтах. Для упрощения допустим, что машина движется по горизонтальной поверхности и центр давления совпадает с центром опорной поверхности гусениц.

При работе лесной машины на слабых почвогрунтах основная доля деформации при сжатии приходится на их уплотнение h_1 .

Деформацию уплотнения dh_1 элементарного слоя почвогрунта толщиной dz , расположенного на глубине z от поверхности грунтового массива, определим по уравнению [7]

$$dh_1 = \frac{dz}{E_0} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)], \quad (2)$$

где E_0 – модуль упругой деформации почвогрунта, Н/м²;

$\sigma_x, \sigma_z, \sigma_y$ – нормальные напряжения, действующие на рассматриваемый элементарный объем почвогрунта, Н/м²;

μ – коэффициент Пуассона для почвогрунтов [7].

При сплошной нагрузке

$$\sigma_z = q_0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu} q_0, \quad (3)$$

тогда

$$dh_1 = \frac{\sigma_z dz}{E_0} \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu} \right). \quad (4)$$

Обозначив множитель, стоящий в скобках, через β , получим

$$dh = \frac{\beta \sigma_z dz}{E_0}, \quad (5)$$

где β – коэффициент, характеризующий боковое расширение почвогрунта,

$$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}.$$

Интегрирование выражения (5) в пределах от $z = 0$ (поверхность почвогрунта) до $z = H$ (глубина залегания твердого слоя) позволяет определить деформацию уплотнения:

$$h_1 = \int_0^H dh_1 = \frac{\beta}{E_0} \int_0^H \sigma_z dz. \quad (6)$$

Зависимость $\sigma_z = f(z)$ запишем в следующем виде [2]:

$$\sigma_z = \frac{1}{1 + \frac{\mu(x-1)}{x} \left(\frac{z}{b}\right) + \frac{1}{\mu x} \left(\frac{z}{b}\right)^2} q_0, \quad (7)$$

где $x = \frac{L}{b}$.

Для определения деформации уплотнения почвогрунта подставим уравнение (7) в выражение (6) и произведем интегрирование в указанных пределах:

$$h_1 = \frac{\beta q_0}{E_0} \int_0^H \frac{dz}{1 + \frac{\mu(x-1)}{xb} z + \frac{1}{\mu x b^2} z^2}. \quad (8)$$

Так как $\frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2} < 4 \frac{1}{\mu x b^2}$, то

$$h_1 = \left[\frac{2bq_0\beta x}{E_0 \sqrt{4 \frac{1}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \operatorname{arctg} \frac{2 \frac{1}{\mu x b^2} z + \frac{\mu(x-1)}{xb}}{\sqrt{4 \frac{1}{\mu x b^2} - \frac{\mu^2(x-1)^2}{x^2 b^2}}} \right]_0^H =$$

$$= \left[\frac{2\beta q_0 b x}{E_0 \sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{2z}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]_0^H. \quad (9)$$

После подстановки пределов получим следующее выражение:

$$h_1 = \frac{2bxq_0\beta}{E_0 \sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \left[\operatorname{arctg} \frac{\frac{2H}{\mu b} + \mu(x-1)}{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} - \operatorname{arctg} \frac{\mu(x-1)}{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \right]. \quad (10)$$

После преобразований окончательное выражение для определения деформации уплотнения почвогрунта примет следующий вид:

$$h_1 = \left[\frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \arctg \sqrt{\frac{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}{2\frac{xb}{H} + \mu(x-1)}} \right] q_0, \quad (11)$$

где H – толщина деформируемого слоя грунта, м.

По результатам экспериментальных исследований [3, 6] предложено принимать $H = 2b$.

Обозначив множитель, стоящий в скобках, через α , получим выражение для определения коэффициента сопротивления уплотнению слабого почвогрунта:

$$\alpha = \frac{2xb\beta}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \arctg \frac{\sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}}{x + \mu(x-1)}. \quad (12)$$

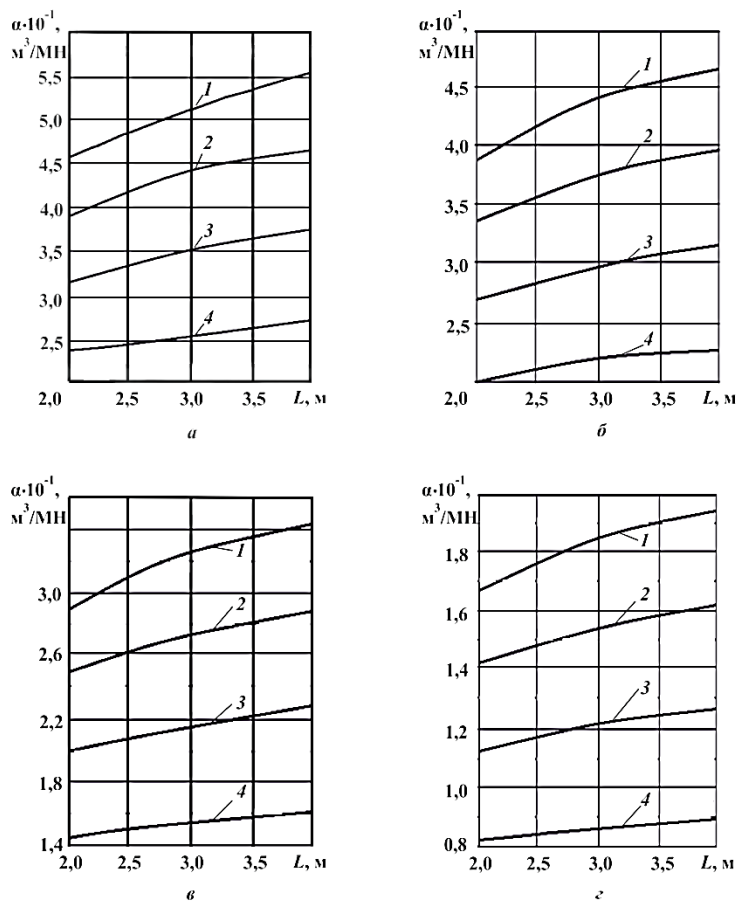
На рисунке приведены графические зависимости коэффициента сопротивления уплотнению исследуемых почвогрунтов, в таблице – показатели их физико-механических свойств.

Почвогрунт	Физико-механические свойства почвогрунта		
	E_0 , МПа	q_s^* , Н/м ²	μ
Торфяная осушенная целина	0,15	0,12	0,28
Влажный с перегноем	0,17	0,15	0,3
Задернелый	0,2	0,2	0,35
Песчаный	0,27	0,25	0,4

* Предел несущей способности слабого почвогрунта.

Из анализа зависимостей $\alpha = f(L, b)$ видно, что с изменением размеров гусеницы ($2 \leq L \leq 4$ и $0,4 \leq b \leq 1$) коэффициент α увеличивается, т. е. при увеличении размеров опорной поверхности гусеницы опорные свойства лесной машины на различных почвогрунтах возрастают.

Близкие по значению экспериментальные данные для коэффициента сопротивления уплотнению соответствующих почвогрунтов приведены в [6].



Зависимость $\alpha = \Phi L$ для различных почвогрунтов: *a* – торфяная осушенная целина; *б* – влажный с перегноем грунт; *в* – задернелый грунт; *г* – песчаный грунт; 1 – $b = 1,0$ м; 2 – 0,8; 3 – 0,6; 4 – 0,4 м

Выводы

Предложенная нами формула (12) учитывает влияние на коэффициент сопротивления уплотнению почвогрунта как свойств грунта (μ , β , E_0 , q_s), так и параметров гусеничного движителя (b , L , a , t , n_1 , n).

Результаты исследований могут быть использованы при разработке перспективных движителей лесосечных машин для проведения лесозаготовительных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г.М., Большаков Б.М. Новая концепция оценки уплотнения почвы трелевочной системой при движении по крутосклонному волоку // Лесн. журн. 1998. № 4. С. 75–78. (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Большаков Б.М.* Выбор модели воздействия трелевочных систем на лесную почву // Лесн. журн. 1998. № 4 С. 72–74. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Лобанов В.Н.* Основы выбора параметров ходовой системы гусеничных лесных машин: учеб. пособие. Брянск: Изд-во БГИТА, 2002. 74 с.
4. Процесс колееобразования при многократном проходе лесозаготовительных машин / В.М. Котиков [и др.]. М.: Изд-во МГУЛ, 1995.
5. *Родионов А.В.* Обоснование технологического процесса комплексного освоения лесных площадей на основе ресурсосбережения: автореф. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 20 с.
6. Теория и конструкция строительных и дорожных машин / Л.А. Гоberman, К.В. Степанян, А.А. Яркин, В.С. Заленский; под ред. Л.А. Гоberman. М.: Машиностроение, 1979. 407 с.
7. *Цытович Н.А.* Механика грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 280 с.

Поступила 15.09.10

V.N. Lobanov

Bryansk State Engineering and Technological Academy

Evaluation of Bearing Properties of Forest Tracked Vehicles Operating on Soft Soil

Mathematical modelling of interaction of tracked vehicles with soil layers has been carried out. An equation for evaluation of their bearing properties when operating on soft soils has been worked out.

Key words: soil, bearing length of track on ground, track width, rut depth, drag coefficient of soil compaction (crumpling).

УДК 630*387.33

В.М. Федулов, В.А. Барабанов

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

Федулов Василий Михайлович родился в 1988 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы в области совершенствования водного транспорта леса.

E-mail: foontvasily@gmail.com



Барабанов Виктор Александрович родился в 1945 г., окончил в 1967 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 90 печатных работ в области совершенствования водного транспорта леса и взаимодействия тел с жидкостью.

Тел.: 8(8182) 21-61-50



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТОВ ИЗ ПЛОСКИХ СПЛОТОЧНЫХ ЕДИНИЦ

Приведены результаты исследований гидродинамических характеристик плотов из плоских сплотовых единиц, получены математические зависимости для определения коэффициентов сопротивления и результирующей силы полного сопротивления.

Ключевые слова: сила сопротивления, плот, плоские сплотовые единицы, коэффициент сопротивления формы, коэффициент сопротивления трения, мелководье.

На малых реках с ограниченными глубинами и шириной, где затруднителен или невозможен сплав плотов, состоящих из стандартных пучков, возможно применение плотов из плоских сплотовых единиц (ПСЕ) малой осадки. Для их надежной эксплуатации требуется знать гидродинамические и инерционные характеристики плотов и разработать рациональное техническое обеспечение.

Профессору А.А. Митрофанову принадлежит приоритет научных исследований, направленных на разработку и обоснование новых технологий лесосплава на базе ПСЕ малой осадки [2]. К настоящему времени опубликованы некоторые результаты исследований одиночных ПСЕ [3] и линеек из них [6, 9].

Целью нашей работы является экспериментальная оценка силы сопротивления воды равномерному движению плотов, состоящих из двух сплотовых единиц по ширине (рис. 1), а также определение коэффициентов сопротивления трения и формы с использованием моделей в условиях спокойной воды при различных интервалах между сплотовыми единицами по длине и ширине.

© Федулов В.М., Барабанов В.А., 2012



Рис. 1. Модель плота из двенадцати пятирядных ПСЕ

Экспериментальные исследования были выполнены в опытном бассейне гравитационного типа лаборатории кафедры водного транспорта леса и гидравлики Северного (Арктического) федерального университета. Ширина бассейна 3 м, длина 14 м, глубина 0,3 м. Исследования проводились на моделях в геометрическом масштабе 1 : 20. Соотношение глубины бассейна к осадке плота $\frac{h_6}{T}$ изменялось от 6,5 до 32,0. При этом T варьировалась в пределах 0,007...0,044 м, h_6 – в пределах 0,07...0,30 м. Длину моделей изменяли в диапазоне 0,65...2,00 м, интервалы между сплоточными единицами по длине C_1 и ширине C_2 – в диапазоне 0,00...0,05 м.

Волновое сопротивление (сопротивление от волн, вызванных движением плота на поверхности жидкости) зависит от глубины наполнения бассейна в том случае, если скорость движения модели превышает $0,4\sqrt{gh_6}$ [1]. Таким образом, если $0,4\sqrt{9,81 \cdot 0,3} = 0,69$ м/с, то глубина наполнения бассейна не оказывает влияния на волновое сопротивление. В наших экспериментах максимальные скорости движения моделей в экспериментах не превышали 0,24 м/с, т. е. глубина наполнения бассейна не оказывала влияния на волновое сопротивление.

Для создания тяговых усилий использовали канатоблочную систему, аналогичную описанной в работе [6], но с применением нового оборудования. Движение моделей плотов фиксировали с помощью бесконтактного датчика оборотов ВС-401. Электрический сигнал, поступающий от датчика, через дифференциальный усилитель ZET-410 и аналого-цифровой преобразователь ZET-220 передавался в персональный компьютер (ПК) для дальнейшей обработки.

Запись и первоначальную обработку сигналов осуществляли с использованием программного пакета ZetLab, который поставлялся вместе с выше-названным измерительным оборудованием. По результатам буксировки моделей строили графики зависимости скорости от времени.

Модели изготавливали из модельных бревен диаметром 10...11 мм и длиной (325±2) мм. Моделирование выполнялось в диапазоне чисел Фруда (0,017...0,095). Числа Рейнольдса варьировались в диапазоне (0,5...3,6)·10⁵. В качестве линейного параметра при определении чисел Фруда и Рейнольдса была принята длина модели *L*. Опыты проводили при температуре воды 15...16 °С. Буксировали модели при пяти различных скоростях *v*, соответствующих натурным, в диапазоне от 0,35 до 1,00 м/с. На основании рекомендаций [2] число повторений в серии опытов было принято равным пяти.

Определение полного сопротивления

Для получения математической зависимости определения полного сопротивления воды движению плота из ПСЕ был использован метод множественной регрессии. В качестве входных величин были выбраны длина *L*, осадка *T*, интервал по ширине *C*₁ и длине *C*₂, квадрат скорости движения модели *v*². Ширину *B* изменяли за счет изменения интервала *C*₁. Входные факторы варьировались на различных уровнях: осадка и длина – на трех уровнях, интервалы – на двух, скорость – на пяти.

Все расчеты были выполнены на ПК с помощью программного пакета Statistica. Применялся метод пошагового включения переменных [10]. Коэффициенты регрессии *b*_{*i*} приведены в табл. 1. Незначимые коэффициенты, для которых расчетное значение *t*-критерия меньше табличного, в таблицу не включены.

В результате было получено следующее уравнение регрессии:

$$\hat{R} = 0,06 + 202,16Tv^2 + 2,26Lv^2 + 50,76TLv^2 + 12,56C_2Lv^2 + 442,93TC_1v^2 + 564,59 C_1C_2L - 13559,27TC_1C_2Lv^2. \quad (1)$$

Таблица 1

Статистические характеристики

Параметр	Коэффициент регрессии <i>b</i> _{<i>i</i>}	Стандартное отклонение <i>s</i> _{<i>b</i>_{<i>i</i>}}	t-критерий		± 95 %-й доверительный интервал
			расчетный	табличный	
<i>b</i> ₀	0,06	0,0027	20,568	1,653	0,0511...0,0619
<i>b</i> ₁₅	202,16	4,4133	45,807		193,4500...210,8700
<i>b</i> ₄₅	2,26	0,1069	21,110		2,0471...2,4693
<i>b</i> ₁₄₅	50,76	3,9252	12,932		43,0144...58,5039
<i>b</i> ₃₄₅	12,56	2,1072	5,962		8,4062...16,7215
<i>b</i> ₁₂₅	442,93	83,5326	5,302		278,1100...607,7430
<i>b</i> ₁₂₃₄	564,59	98,8875	5,709		369,4740...759,7000
<i>b</i> ₁₂₃₄₅	-13559,27	2765,2300	-4,903		-19015,3000...-8103,2000

Далее определяли значимость регрессии. Для этого вычисляли F-критерий. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты дисперсионного анализа

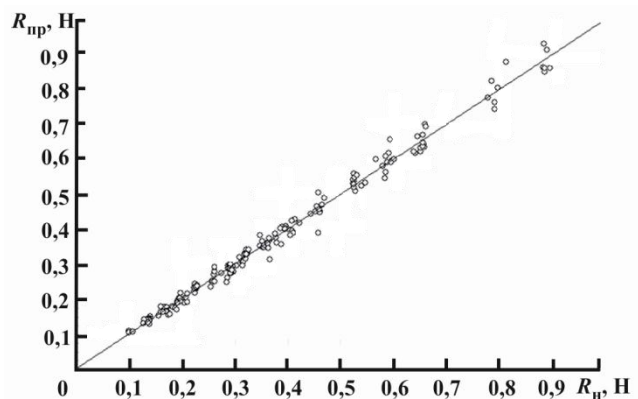
Параметр	Сумма квадратов SS	Число степеней свободы df	Средний квадрат MS	F-критерий
b_0	0,142048	1	0,142048	423,03
b_{15}	0,704572	1	0,704572	2098,28
b_{45}	0,149635	1	0,149635	445,63
b_{145}	0,056152	1	0,056152	167,23
b_{345}	0,011937	1	0,011937	35,55
b_{125}	0,009441	1	0,009441	28,12
b_{1234}	0,010946	1	0,010946	32,60
b_{12345}	0,008074	1	0,008074	24,04
Остаток	0,061113	182	0,000336	–

При числе степеней свободы 1, 182 и доверительной вероятности 95 % табличное значение $F_{табл} = 3,89$. Так как для всех значений $F_{расч} > F_{табл}$, была принята гипотеза о том, что регрессия значима с риском ошибиться не более чем в 5 % случаев.

Далее вычисляли коэффициент множественной корреляции R^2 и скорректированный коэффициент множественной корреляции R_{adj}^2 [10, 11]: $R^2 = 0,992$; $R_{adj}^2 = 0,991$, т.е. полученное уравнение регрессии (1) на 99,1 % объясняет разброс данных относительно среднего \bar{R} .

График, приведенный на рис. 2, иллюстрирует связь между наблюдаемыми и предсказанными по уравнению регрессии (1) значениями сопротивления. Экспериментальные точки располагаются в достаточной близости от биссектрисы координатного угла без значительного отклонения. Можно сделать вывод, что математическая модель (1) адекватно отражает экспериментальные данные.

Рис. 2. График связи между предсказанными $R_{пр}$ и наблюдаемыми $R_{н}$ значениями сопротивления



Определение коэффициентов сопротивления трения и формы

Зависимость для определения сопротивления движению моделей на глубокой спокойной воде в классическом варианте имеет следующий вид [5]:

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}} + R_{\text{волн}} = \left(\xi_{\text{тр}} S + C_{\text{ф}} \Omega + C_{\text{волн}} W \right) \frac{\rho v^2}{2},$$

где $R_{\text{тр}}$ – сопротивление трения;
 $R_{\text{ф}}$ – сопротивление формы;
 $R_{\text{волн}}$ – волновое сопротивление;
 $\xi_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трения;
 L, B, T – соответственно длина, ширина и осадка модели;
 S – площадь трения, $S = (2T + B)L$;
 $C_{\text{ф}}$ – коэффициент сопротивления формы;
 Ω – площадь миделевого сечения, $\Omega = BT$;
 $C_{\text{волн}}$ – коэффициент волнового сопротивления;
 W – характерная площадь;
 ρ – плотность воды;
 v – скорость движения модели.

Волновой составляющей сопротивления $R_{\text{волн}}$ можно пренебречь, так как скорости движения, а соответственно, и числа Фруда малы. Волнообразование практически не происходит. Поэтому

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}}.$$

Для каждой модели плота коэффициент $\xi_{\text{тр}}$ определяли по формуле [8]:

$$\xi_{\text{тр}} = \left(1,89 + 1,621g \left(\frac{L}{k_s} \right) \right)^{-2,5},$$

где k_s – крупность зерна эквивалентной «песочной» шероховатости плотов ($k_s = 5$ мм – для натуральных плотов, $k_s = 0,5$ мм – для моделей плотов в геометрическом масштабе 10 – 50 [7]).

Коэффициент $C_{\text{ф}}$ рассчитывали как

$$C_{\text{ф}} = \frac{2(R - R_{\text{тр}})}{\rho \Omega v^2}. \quad (2)$$

Полное сопротивление R определяли по результатам экспериментальных исследований для каждого опыта в зависимости от скорости равномерно-го движения модели, длины, осадки, интервалов по длине и ширине между сплочными единицами. В результате расчета коэффициентов $C_{\text{ф}}$ по формуле (2) для каждой модели плота из ПСЕ методом наименьших квадратов была подобрана аппроксимирующая зависимость вида

$$C_{\text{ф}} = 0,733 + 0,744 \left(\frac{B}{T} \right)^{-0,74}. \quad (3)$$

Формула (2) применима для диапазона натуральных скоростей от 0,35 до 1,00 м/с и диапазона отношения $\frac{B}{T} = 14 \dots 100$.

Влияние мелководья на сопротивление движению плотов из ПСЕ

Максимальная глубина наполнения бассейна, при которой его дно не оказывает дополнительного влияния на сопротивление движению, определяли по рекомендациям [4, 5]. Считается, что глубина воды в бассейне h_6 не оказывает влияние на вязкостное сопротивление движению пучковых плотов при отношении глубины к осадке $\frac{h_6}{T} > 8$ [4] или $\frac{h_6}{T} > 10$ [7].

Дополнительное сопротивление, учитывающее влияния мелководья, можно выразить зависимостью

$$\Delta R = kR,$$

где k – коэффициент дополнительного сопротивления от влияния мелководья.

В результате исследований были получены коэффициенты $k = f\left(\frac{h_6}{T}\right)$, характеризующие влияние мелководья на сопротивление движению (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты k для плотов из ПСЕ

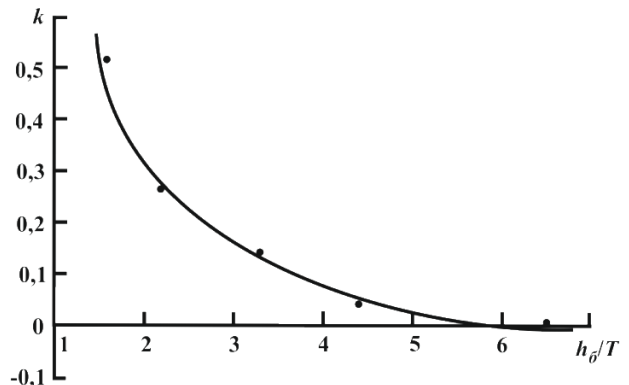
h_6/T	6,5	4,4	3,3	2,2	1,6
k	0,005	0,043	0,141	0,264	0,516

Из табл. 3 видно, что при $\frac{h_6}{T} = 6,5$ дополнительное влияние мелководья составляет лишь 0,5 % от сопротивления на глубокой воде, в то время как при $\frac{h_6}{T} = 1,6$ возникает дополнительное сопротивление 51,6 %.

По результатам расчетов был построен график зависимости $k = f\left(\frac{h_6}{T}\right)$, приведенный на рис. 3.

Рис. 3. График зависимости

$$k = f\left(\frac{h_6}{T}\right)$$



Выводы

По результатам экспериментальных исследований получены:

математическая модель для определения полного сопротивления, которая учитывает гидродинамические эффекты, возникающие от наличия промежутков между сплоточными единицами по длине и ширине, и адекватно описывает экспериментальные данные;

формула для определения сопротивления формы в виде $C_{\phi} = f\left(\frac{B}{T}\right)$, ко-

торая применима для малых плотов из ПСЕ в диапазоне $\frac{B}{T} = 14 \dots 100$;

коэффициенты дополнительного сопротивления от влияния мелководья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мельников Л.В.* Исследование гидродинамического способа остановки плотов водными парашютами: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 1974. 228 с.
2. *Митрофанов А.А.* Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с.
3. *Мурашова О.В., Митрофанов А.А.* Исследование гидродинамических характеристик плоских сплоточных единиц на моделях и в натуральных условиях // Лесн. журн. 2007. №1. С. 58–66. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Овчинников М.М.* Транспортные характеристики пучковых плотов: учеб. пособие. Ленинград: ЛТА, 1985. 80 с.
5. *Павленко Г.Е.* Сопротивление воды движению судов. М.: Мор. транспорт, 1956. 508 с.
6. *Перфильев П.Н., Митрофанов А.А.* Исследования гидродинамических характеристик леек из плоских сплоточных единиц // Лесн. журн. 2009. №1. С. 44–51. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Худоногов В.Н.* Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды. Красноярск: Красн. кн. изд-во, 1966. 225 с.
8. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.
9. *Штаборов Д.А.* Некоторые результаты исследований инерционных характеристик леек из плоских сплоточных единиц // Совершенствование техники и технологии лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. ФПР АГТУ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2010. С. 96–98.
10. *Rawlings J.O., Pantula S.G., Dickey D.A.* Applied regression analysis: A research tool. New York: Springer-Verlag, 1998. 659 p.
11. *Weisberg S.* Applied Linear Regression: Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 329 p.

Поступила 20.11.10

V.M. Fedulov, V.A. Barabanov

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

Results of Experimental Studies of Hydrodynamic Characteristics of Flat-Unit Rafts

The article presents the results of experimental studies of hydrodynamic characteristics of flat-unit rafts. The results are introduced in the form of mathematical relations for calculation of resistance coefficients and resultant force of total resistance.

Key words: resistance force, raft, flat raft units, form resistance coefficient, friction resistance coefficient, shallow water.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 66.047.25

М.Н. Гамрекели

Уральский государственный лесотехнический университет

Гамрекели Михаил Николаевич родился в 1940 г, окончил в 1963 г. Уральский государственный лесотехнический университет, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры охраны труда Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 научных работ в области исследований тепломассообмена в дисперсных средах, энергосбережения в процессах и аппаратах химической технологии, переработки промышленных отходов.
E-mail: gamrekely@mail.ru



ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУШКИ ДРЕВЕСНОЙ СТРУЖКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НА ВТОРОЙ СТАДИИ ВОЗДУХА, ОСУШЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЕМ

Организация двухстадийного процесса сушки древесной стружки на основе существующих высокотемпературных барабанных сушилок с использованием осушенного охлаждением сушильного воздуха на второй стадии позволяет значительно увеличить производительность за счет снижения конечной температуры и утилизации тепла отработанного сушильного агента первой стадии сушки, снизить удельные затраты тепла, устранить пожароопасность процесса.

Ключевые слова: стружка, двухстадийная сушка, осушенный воздух.

Технология производства древесностружечных плит предусматривает доведение влажности используемой стружки до стандартных значений 2...5 % [5]. Для этой цели сырье сушат преимущественно в барабанных сушилках, используя в качестве сушильного агента сильно разбавленные свежим воздухом дымовые газы с температурой на входе от 275...300 до 550...600 °С и на выходе 125...150 °С [3].

Стремление уменьшить затраты тепла и пожароопасность процесса за счет понижения конечной температуры приводит к получению продукта с повышенной нестандартной влажностью.

Цель наших исследований – повышение эффективности использования тепла и снижение пожароопасности за счет проведения процесса в две стадии.

Обоснование двухстадийной сушки древесных материалов

Для решения проблемы предложено проводить процесс сушки в две стадии. При этом в результате увеличения подачи влажного продукта происходит снижение температуры в конце первой стадии. На вторую стадию стружка поступает еще с повышенной влажностью, ее подсушка осуществляется благодаря возникновению высокого потенциала влагопереноса между стружкой и потоком свежего сушильного воздуха.

Рассмотрим, как изменяется потенциал сушки на второй стадии процесса после первой высокотемпературной стадии сушки, реализуемой в промышленном сушильном барабане Н411-56. Воздух, используемый в качестве сушильного агента на второй стадии, предварительно осушают за счет конденсации при охлаждении и отделения содержащейся в нем влаги [1].

Так, при охлаждении воздуха до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ его влагосодержание снижается до $d_1 = 6\text{ г/кг}$ абсолютно сухого воздуха (а.с.в.), а при охлаждении до отрицательных температур (не выше $-14\dots-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) при относительной влажности 50 % содержание влаги в воздухе не превышает $d_{н.в} = 1\text{ г/кг}$ а.с.в. Такое же влагосодержание имеет поступающий извне морозный воздух, который можно использовать в качестве сушильного агента в зимний период.

Зададимся условием, что в процессе тепломассообмена поступающий сушильный свежий воздух при контакте с горячим материалом в конце второй стадии сушки будет иметь температуру $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тогда для получения стружки с равновесной влажностью $W_{р.м} = 4\text{ \%}$ в соответствии с диаграммой равновесной влажности древесины [2] воздух в конце второй стадии должен иметь относительную влажность $\varphi_v = 18\text{ \%}$ при абсолютном содержании влаги 26 г/кг а.с.в. по $I-d$ -диаграмме влажного воздуха.

Таким образом, потенциал влагоемкости воздуха Δd_v , который можно использовать для подсушки материала на второй стадии в расчете на 1 кг а.с.в., в зависимости от степени осушки воздуха увеличивается до $20\dots25\text{ г/кг}$ а.с.в. и может быть рассчитан по формуле

$$\Delta d_v = (d_{к.в} - d_{н.в}), \quad (1)$$

где $d_{н.в}$ и $d_{к.в}$ – начальное и конечное влагосодержание воздуха, подвергаемого осушке.

При температуре сушильного воздуха в конце второй стадии сушки $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительная влажность воздуха составит 23 %, а его влагоемкость увеличиться до $33\dots38\text{ г/кг}$ а.с.в.

Процесс сушки стружки в барабанных сушилках

Для режимов сушки стружки в сушильном барабане Н411-56 в соответствии с технической характеристикой [3] для четырех положений наклона барабана при температурах сушильного агента (топочных газов) на входе $t_{вх} = 287\dots575\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выходе $t_{вых} = 125$ и $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ рассчитаны показатели равновесного состояния контактирующих сред. Значения относительной влажности сушильного агента на выходе из барабана $\varphi_v < 5\text{ \%}$, что соответствует по

Таблица 1

Технические показатели для сушки стружки при $t_{\text{вых1}}^1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

№ режима сушки	Угол наклона барабана α , град	Расход сушительного газовоздушного агента $G_{\text{га}}, 10^3 \text{ кг/ч}$	Средняя температура сушильного агента на входе $t_{\text{вх1}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Одностадийный (базовый) процесс			Двухстадийный процесс				
				Производительность по испаренной влаге $G_{\text{вп}}, \text{ кг/ч}$	Производительность по сухому материалу $G_{\text{см1}}, \text{ кг/ч}$	Относительная влажность агента на выходе из барабана $\varphi_{\text{вп}}, \%$	Показатель увеличения термического потенциала сушилки $K_{\text{тл}}$	Производительность по сухому материалу $G_{\text{см2}}, \text{ кг/ч}$	Производительность по испаренной влаге на 1-й стадии сушилки $S_{\text{вп}}, \text{ кг/ч}$	Производительность по испаренной влаге на 2-й стадии сушилки $S_{\text{вп}}, \text{ кг/ч}$	Производительность по испаренной влаге 2-стадийной установки $S_{\text{вп2}}, \text{ кг/ч}$
1	+3	19	287	600	680	6,0	1,42	966	782	70	852
2	0	24	337	1000	1300	7,1	1,30	1690	1185	115	1300
3	-2	24	565	1800	2500	8,7	1,13	2835	1651	390	2041
4	-3	27	575	3000	4000	13,2	1,13	4524	2792	610	3402

диаграмме влажности древесины значениям равновесной влажности стружки $W_{\text{р.м}} < 1 \%$. Расчетное время пребывания стружки с учетом производительности и степени заполнения барабана сушилки составляет 1,1 ч.

Анализ показал, что при фактической конечной влажности стружки 4 % в барабанной сушилке Н411-56 коэффициент достижимости равновесной влажности древесины $k_{\text{р}}$, рассчитанный по формуле

$$k_{\text{р}} = \frac{W_{\text{к.м}}}{W_{\text{р.м}}}, \quad (2)$$

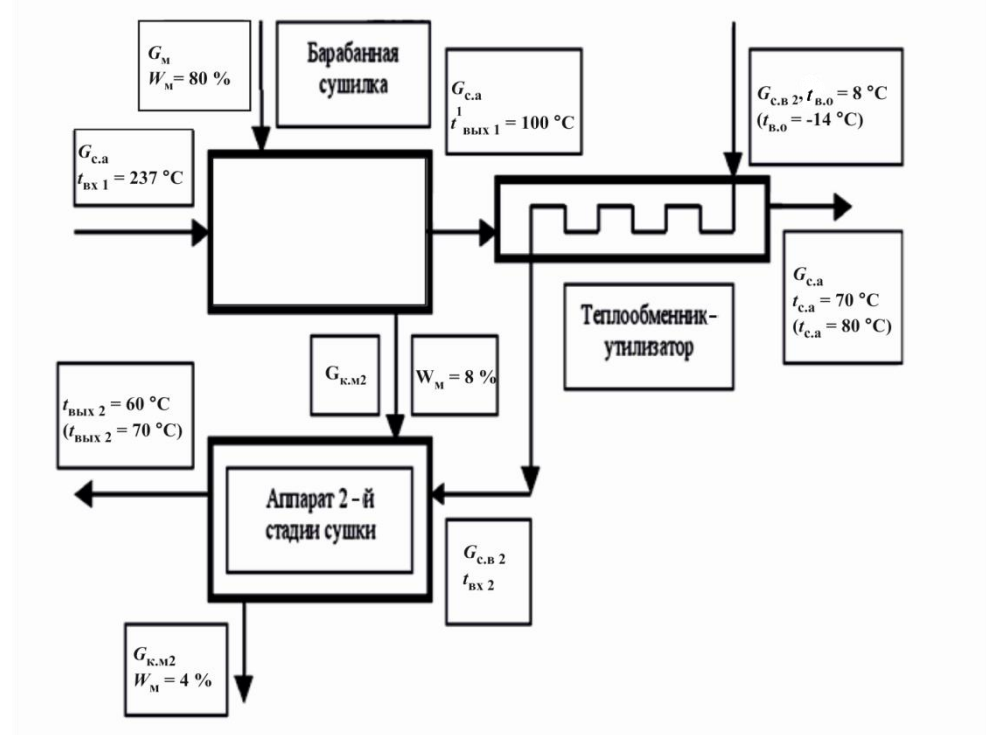
не превышает 0,25.

Здесь $W_{\text{к.м}}$ – фактическая влажность частиц дисперсных материалов при температуре и относительной влажности воздуха на выходе из сушильной камеры; $W_{\text{р.м}}$ – равновесная влажность взвешенных в газе частиц дисперсных материалов.

Показатели одно- и двухстадийного процессов сушки

В табл. 1 приведены показатели базовых режимов одностадийного процесса сушки стружки в сушильном барабане Н411-56 с начальной $W_{\text{м}} = 80 \%$ и конечной $W_{\text{м}} = 4 \%$ влажностью, а на рисунке – принципиальная схема 2-стадийной сушки и расчетные значения показателей предложенного процесса при сохранении всех начальных условий одностадийных режимов. Конечная температура первой стадии $t_{\text{вых1}}$ и равная ей начальная температура второй стадии снижены от пожароопасного значения $155 \text{ }^\circ\text{C}$ до нового значения $t_{\text{вых1}}^1 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ при двух вариантах конечной температуры процесса $t_{\text{вых2}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{вых2}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Производительность двухстадийной установки по материалу и испаренной влаге рассчитывали умножением соответствующих значений производительности одностадийного процесса на показатель увеличения



Принципиальная схема двухстадийной сушки дисперсных древесных материалов с использованием на второй стадии воздуха, осушенного охлаждением

термического потенциала сушки, который можно рассчитать как

$$K_{т.п} = \frac{t_{вх1} - t_{вых1}^1}{t_{вх1} - t_{вых1}}$$

Из данных табл. 1 следует, что за счет снижения конечной температуры в сушильном барабане при сохранении начальной температуры и расхода сушильного агента можно на первой стадии значительно увеличить подачу влажного материала в сушилку, что повысит производительность по испаренной влаге и высушиваемому материалу. Однако при этом его влажность после первой стадии увеличится до заданного значения (в нашем случае до $W_M = 8\%$), и возникнет необходимость подсушки материала на второй стадии до стандартной влажности.

Расчетное влагосодержание сушильного воздуха при $t_{вых1}^1 = 100\text{ °C}$ на выходе из барабана при переходе от режима сушки № 1 к режиму № 4 увеличивается от 41 до 103 г/кг а.с.в., что по $t - \varphi_v$ -диаграмме соответствует теоретическому значению равновесной влажности древесины $W_{р.м} = 1,3...2,4\%$. При этом k_p не превышает 0,375.

Температура и расход сушильного воздуха на второй стадии

Расход сушильного воздуха на второй стадии зависит от количества влаги, которую необходимо испарить $G_{и2}$, и потенциала влагоемкости сушильного воздуха на второй стадии:

$$G_{в2} = \frac{G_{и2}}{\Delta d_{в}}.$$

В общем случае производительность по испаренной влаге на второй стадии сушки определяется с учетом влажности материала в конце первой $W_{к.м1}$ и второй $W_{к.м2}$ стадий по формуле

$$G_{и2} = \frac{(W_{к.м1} - W_{к.м2})G_{сух}}{100}.$$

Для достижения на второй стадии конечной температуры сушильного воздуха, при которой влажности материала и воздуха приходят в «квазиравновесное» состояние, его нужно после осушки охлаждением или вымораживанием перед подачей в аппарат второй стадии сушки подогреть до расчетной температуры $t_{вх2}$, используя низкотемпературное тепло сушильного агента после первой стадии сушки и теплосодержание материала.

Начальная температура воздуха $t_{вх2}$ зависит от его заданной конечной температуры; расхода материала $G_{м}$, его начальной и конечной температуры на входе $t_{вх2}$ и выходе $t_{вых2}$ из сушильной камеры; количества влаги $G_{и2}$, испарившейся в процессе второй стадии сушки, с учетом удельной теплоты испарения воды $q_{исп}$:

$$t_{вх2} = \frac{G_{с.в2} \bar{c}_{в} t_{вых2} + G_{м} \bar{c}_{м} (t_{вых2} - t_{вх2}) + q_{исп} G_{и2}}{G_{с.в2} \bar{c}_{в}}.$$

Расход и теплоемкость материала $\bar{c}_{м}$ и сушильного воздуха $\bar{c}_{в}$ следует принимать при средних значениях температур второй стадии сушки.

Оценка энергосбережения при двухстадийном процессе сушки

Эффективность перехода на двухстадийную сушку стружки можно оценить, сравнивая удельные затраты на испарение 1 кг влаги по режимам промышленного (базового) процесса $q_{б}$ и q_2 для соответствующих расчетных режимов двухстадийного процесса:

$$q_2 = \frac{q_{б} G_{и.б} - Q_{э.м} - Q_{э.с.а} + Q_3}{G_{и1,2}}. \quad (3)$$

Для рассматриваемых режимов сушки стружки в сушильном барабане Н411-56 удельный расход теплоты на 1 кг испаренной влаги из расчета 100 кг «условного топлива» на 1 т сухой стружки при теплоте сгорания 7000 ккал/кг составляет $q_{б} = 3850$ кДж/кг [4].

В формуле (3) учтены экономия теплоты ($Q_{э.м}$, $Q_{э.с.а}$) и дополнительные затраты (Q_3):

а) экономия теплоты в результате использования части теплосодержания материала после первой стадии на осуществление второй стадии

$$Q_{э.м} = G_M \bar{c}_M (t_{\text{вых1}} - t_{\text{вых2}}) \frac{1}{D_{\Pi}}; \quad (4)$$

б) экономия теплоты за счет утилизации вторичного тепла сушильного агента первой стадии сушки на подогрев сушильного воздуха второй стадии сушки

$$Q_{э.с.а} = G_{с.в} c_B (t_{\text{вых1}} - t_{\text{вых2}}^1) \frac{1}{D_{\Pi}}; \quad (5)$$

в) затраты теплоты на дополнительный подогрев воздуха второй стадии сушки от температуры холодного воздуха после осушки охлаждением $t_{в.охл}$ до начальной температуры второй стадии $t_{вх2}$

$$Q_3 = G_{с2} c_B (t_{вх2} - t_{в.охл}) D_{\Pi}. \quad (6)$$

Конечная температура сушильного агента $t_{\text{вых2}}^1$ после передачи тепла в теплообменнике сушильному воздуху второй стадии сушки в расчетах принята на 10 °С выше температуры на выходе из аппарата второй стадии сушки.

Используя выражения (4)–(6), преобразуем соотношение (3) к следующему виду:

$$q_{с.в} = \frac{q_B G_{и.б} - G_M \bar{c}_M (t_{\text{вых1}} - t_{\text{вых2}}) \frac{1}{D_{\Pi}} - G_{с.а} \bar{c}_B (t_{\text{вых1}} - t_{\text{вых2}}^1) \frac{1}{D_{\Pi}} + G_{в2} \bar{c}_B (t_{вх2} - t_{в0}) D_{\Pi}}{G_{и1,2}}. \quad (7)$$

Коэффициент $D_{\Pi} = 1,1$ учитывает внешние потери теплоты от поверхностей аппаратов и воздухопроводов первой и второй стадий сушки, которые приняты 10 % от полезных затрат тепла.

В табл. 2 приведены расчетные значения (при начальной температуре $t_{в.о} = 10$ °С) показателей второй стадии процесса (в скобках – при $t_{в.о} = -14$ °С). Удельные затраты теплоты рассчитаны при $k_p = 0,25$ и 1,00.

Дополнительная мощность электродвигателей при переходе на двухстадийный процесс по аналогии с технической характеристикой базовой установки [3] составит около 2 кВт на 1000 кг сушильного агента.

Наиболее экономичны режимы при $t_{\text{вых2}} = 70$ °С и $k_p = 1,00$. Производительность увеличивается на 14...25 % при удельном снижении затрат теплоты на 12...48 %, несмотря на сравнительно небольшие дополнительные затраты теплоты на повышение температуры холодного воздуха перед его подачей в аппарат второй стадии сушки.

Наряду с совмещением процессов охлаждения, сушки и усреднения структурной влажности дисперсных древесных материалов, снижением пожароопасности при переходе на двухстадийную схему сушки получен очевидный экономический эффект.

Таблица 2

№ режима сушки	Производительность по испаренной влаге на 2-й стадии сушки $G_{из}$, кг/ч	Значение показателей при различных температурах t_{max2} , °С, потенциале влагосодержания сушеного воздуха 2-й стадии Δd_{60} , г/кг а.с.в., и K_p											
		60				70				70			
		9 (14) при $K_p = 0,25$		20 (25) при $K_p = 1,00$		33 (38) при $K_p = 1,00$		9 (14) при $K_p = 0,25$		20 (25) при $K_p = 1,00$		33 (38) при $K_p = 1,00$	
		Расход сушительного воздуха $G_{с.в.}$, кг/ч	Начальная температура сушительного воздуха 2-й стадии $t_{вх2}$, °С	Удельные затраты теплоты на испарение влаги $q_{с.в.}$, кДж/кг	Расход сушительного воздуха $G_{с.в.}$, кг/ч	Начальная температура сушительного воздуха 2-й стадии $t_{вх2}$, °С	Удельные затраты теплоты на испарение влаги $q_{с.в.}$, кДж/кг	Расход сушительного воздуха $G_{с.в.}$, кг/ч	Начальная температура сушительного воздуха 2-й стадии $t_{вх2}$, °С	Удельные затраты теплоты на испарение влаги $q_{с.в.}$, кДж/кг	Расход сушительного воздуха $G_{с.в.}$, кг/ч	Начальная температура сушительного воздуха 2-й стадии $t_{вх2}$, °С	Удельные затраты теплоты на испарение влаги $q_{с.в.}$, кДж/кг
1	70	7 778 (5 000)	70 (76)	2 641 (2 634)	3 500 (2 800)	82 (88)	2 574 (2 779)	2 121 (1 842)	79 (90)	2 596 (2 609)	2 121 (1 842)	79 (90)	2 596 (2 609)
2	115	12 778 (8 214)	69 (75)	2 930 (2 924)	5 750 (4 600)	77 (81)	2 855 (2 866)	3 485 (3 026)	82 (89)	2 874 (2 887)	3 485 (3 026)	82 (89)	2 874 (2 887)
3	390	43 333 (2 785)	75 (83)	3 647 (3 617)	19 500 (15 600)	93 (101)	3 085 (3 156)	11 818 (1 026)	86 (95)	3 019 (3 052)	11 818 (1 026)	86 (95)	3 019 (3 052)
4	610	67 778 (4 357)	75 (83)	3 644 (3 630)	30 500 (24 400)	93 (101)	3 498 (3 520)	18 485 (1 605)	86 (95)	3 434 (3 474)	18 485 (1 605)	86 (95)	3 434 (3 474)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гамрекели М.Н.* Параметрические условия энергосбережения при распылительной сушке // Пищевая технология. 2006. № 1. С. 74–79. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Серговский П.С.* Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1968. 448 с.
3. Справочник по производству древесностружечных плит / И.А. Отлев [и др.]. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 384 с.
4. Теплотехника / Б.И. Бахмачевский [и др.]. М.: Metallurgizdat, 1963. 608 с.
5. *Шварцман Г.М., Щедро Д.А.* Производство древесностружечных плит. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 320 с.

Поступила 27.04.10

M.N. Gamrekely
Ural State Forestry University

Efficiency of Two-Stage Drying of Wood Chips Using Cool-Dried Air

Organization of a two-stage process of wood chips drying on the basis of existing high-temperature drum-type dryers using cool-dried air at the second stage can significantly improve performance by reducing the final temperature and waste-heat recovery of the spent drying agent of the first drying stage, as well as to reduce the unit cost of heat and eliminate fire hazards of the process.

Key words: chips, two-stage drying, dried air.

УДК 676.1.054.1

А.В. Антонов¹, Н.А. Петрушева², Ю.Д. Алашкевич²

¹Сибирский филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС

²Сибирский государственный технический университет

Антонов Александр Викторович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Академию ГПС МЧС России, заместитель начальника отдела ЭИиОКР Центра НИОКР Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС. Имеет 3 научные работы в области подготовки волокнистых материалов и получения материалов со специальными свойствами.

E-mail: sanches12@mail.ru



Петрушева Надежда Александровна родилась в 1977 г., окончила в 2000 г. Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент Лесосибирского филиала СибГТУ. Имеет около 70 научных работ в области подготовки волокнистых материалов.

E-mail: petrusheva-n@mail.ru



Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор Сибирского государственного технического университета. Имеет более 450 научных работ в области размола волокнистых материалов и др. областях.

E-mail: sibstu@sibstu.kts.ru



ПОЛУЧЕНИЕ

ОГНЕЗАЩИЩЕННЫХ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ

Представлены результаты экспериментальных исследований зависимости горючести древесноволокнистых плит от концентрации вспученного вермикулита в древесноволокнистой композиции.

Ключевые слова: древесноволокнистый полуфабрикат, вермикулит, горючесть.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) находят широкое применение в различных отраслях промышленности, строительстве, производстве мебели, тары и др. областях. Мягкие ДВП используют в качестве термо- и звукоизоляции элементов щитовых, панельных и каркасных домов заводского изготовления, а также для утепления кирпичных, железобетонных ограждающих конструкций в промышленном и гражданском строительстве. Твердые ДВП применяют в качестве листового обшивочного материала для каркасных перегородок, стен, потолков зданий с последующей их окраской или оклейкой обоями [4]. Толстые плиты используются для опалубки при сооружении железобетонных конструкций, сверхтвердые плиты – для покрытия полов, а плиты с лакокрасочным покрытием – для обустройства кухонь, ванных комнат,

санузлов. В производстве мебели широко применяют MDF. Плиты поставляются с поверхностью под ценные породы древесины, из них изготавливают конструкционные элементы мебели: двери, боковины шкафов, дверей, перегородки.

На отечественном и зарубежном рынке востребованы ДВП со специальными свойствами: повышенной водо-, био- и огнестойкостью, высокими прочностными характеристиками, экологически безопасные и отвечающие современным требованиям эстетики и дизайна [3]. Используемые для этой цели материалы являются дорогостоящими, дефицитными и нередко токсичными. Поэтому повышение качества продукции должно быть связано с разработкой новых технологий и применением материалов, обеспечивающих снижение загрязнения окружающей среды без повышения себестоимости продукции.

По показателю горючести древесноволокнистые плиты относятся к группе Г4 (сильногорючие) [3]. При этом одинаковые физико-механические свойства в различных направлениях, сравнительно небольшие изменения в условиях переменной влажности, возможность получения материалов со специальными свойствами, высокая степень механизации и автоматизации производства и др. делают их незаменимыми при изготовлении мебели, тары, в строительстве, домо-, судо-, вагоно- и самолетостроении [5].

В настоящее время известно несколько подходов к решению проблемы снижения пожарной опасности древесноволокнистых плит: обработка поверхностей плит огнезащитными красками, грунтовками, обмазками; пропитка готовых плит различными составами и способами; введение антипиренов в древесноволокнистую композицию на различных стадиях изготовления плит. Однако это в основном применяют для плит, произведенных сухим способом, используемые материалы дорогостоящи и не всегда экологически безопасны.

Является целесообразным поиск новых решений в области производства огнезащищенных древесноволокнистых плит, произведенных мокрым способом. Например, путем введения вспученного вермикулита в древесноволокнистую композицию.

Вермикулит – это минерал, обладающий высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, не токсичный, не подверженный гниению, препятствующий распространению плесени [2]. Уникальны его технические характеристики – температуро- и огнестойкость, отражающая способность, химическая инертность. Вермикулит является экологически чистым и биостойким продуктом. При повышенной температуре, имеющей место при пожарах, он не выделяет никаких газов, что является важным преимуществом по сравнению с другими известными материалами органического происхождения [2].

Вспученный вермикулит – сыпучий, легкий, высокопористый материал с характерной чешуйчатой структурой, без запаха. Вермикулит во вспученном состоянии после удаления гидратной воды имеет плотность от 80 до 150 кг/м³ и является прекрасной основой для формирования из него различных по свойствам материалов.

Фактор	Уровень варьирования		Шаг <i>h</i>
	минимальный	максимальный	
Концентрация вермикулита в основной древесноволокнистой композиции, % от а.с.в	0	50	5

Исследования по выявлению горючести ДВП от концентрации вспученного вермикулита в древесноволокнистой композиции проводили в лаборатории лесоперерабатывающей, целлюлозно-бумажной и химической технологии древесины Лесосибирского филиала СибГТУ.

В эксперименте использовали вспученный вермикулит мелкой фракции по ГОСТ 12865–67 с размером зерен до 0,6 мм и древесноволокнистую массу следующего породного состава, %: сосна – 92; лиственница – 4; береза – 2; осина – 2. Степень помола 20...22 ДС.

Уровни и шаг варьирования фактора представлены в таблице.

В ходе исследований установлено, что наибольшее влияние на показатели физико-механических свойств ДВП оказывает гранулометрический состав вермикулита, т. е. чем меньше размеры частиц, тем равномернее они распределены по объему плиты. Как видно из фотографии (рис. 1), на волокне при соприкосновении с твердой гранулой вермикулита образуется трещина, гранула входит в волокно, при этом волокно как бы обволакивает частицу минерала.

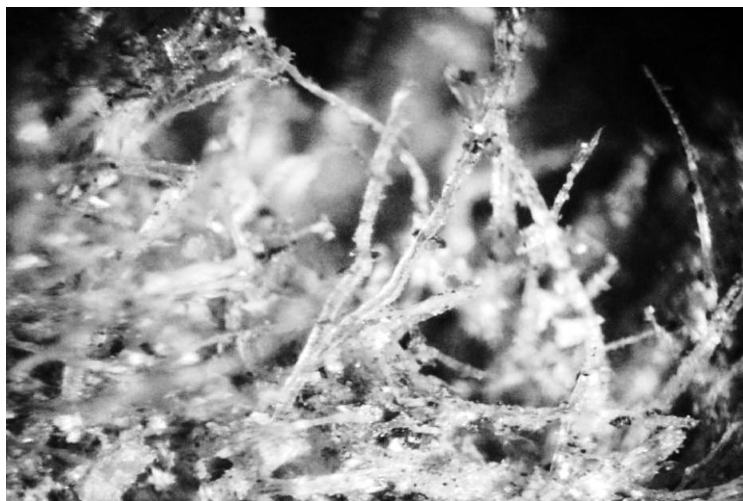
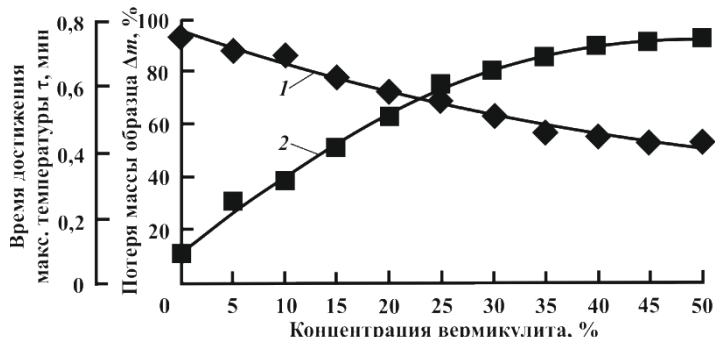


Рис. 1. Распределение вспученного вермикулита в древесноволокнистой плите

Испытания ДВП с вермикулитом проводили на установке ОТМ по ГОСТ 12.1.044–89* «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». По результатам исследований была построена графическая зависимость (рис. 2), которая показывает, что

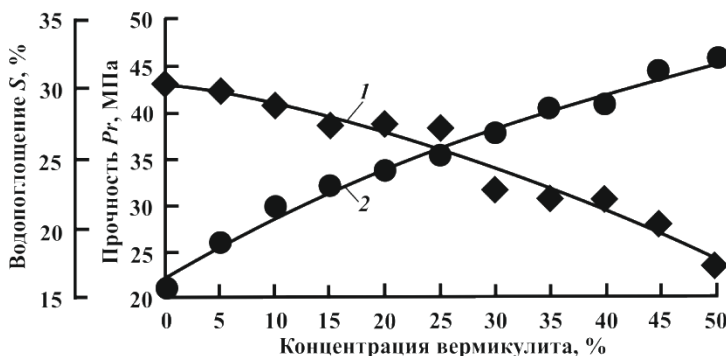
Рис. 2. Зависимость потери массы образца (1) и времени достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения (2) от концентрации вермикулита



с повышением концентрации вермикулита в композиции плиты потеря массы образца уменьшается с 92 (для стандартной ДВП с нулевым содержанием вермикулита) до 53 % (при концентрации вермикулита 50 %) практически в прямо пропорциональной зависимости. Время достижения максимальной температуры газообразных продуктов горения увеличивается и достигает таких значений, при которых ДВП можно отнести к группе горючих материалов средней воспламеняемости [1]. Зависимость носит параболический характер, при увеличении концентрации вермикулита от 0 до 30 % парабола круто возрастает, затем становится более пологой.

В процессе придания ДВП специальных свойств необходимо сохранять показатели физико-механических свойств плит на уровне требований ГОСТ 4598–86. В связи с этим были проведены исследования зависимости прочности и водопоглощения ДВП от концентрации вермикулита в древесноволокнистой композиции. Результаты исследований были использованы для построения графической зависимости (рис. 3), анализируя которую можно сделать вывод, что при стандартных режимах размола, отлива и прессования в производстве ДВП мокрым способом присутствие вермикулита в плите несколько снижает показатели физико-механических свойств готовой продукции. Однако можно предположить, что, изменяя породный состав и режимы размола древесноволокнистой массы, можно достичь таких показателей для ДВП с добавлением вермикулита, которые будут соответствовать требованиям ГОСТ 4598–86.

Рис. 3. Зависимость прочности (1) и водопоглощения (2) ДВП от концентрации вермикулита



Выводы

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что вермикулит можно и следует использовать в производстве ДВП мокрым способом для снижения пожарной опасности плит.

Возможность получения ДВП специального назначения с применением вермикулита напрямую связана с гранулометрическим составом минерала и степенью разработанности древесного волокна.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на подготовку древесноволокнистой массы и придания вермикулиту необходимого гранулометрического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.1.044–89* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Взамен ГОСТ 12.1.044–89; введен 01.01.1991. М.: Изд-во стандартов, 2006. 68 с.
2. Каталог минералов: виртуальная коллекция минералов и драгоценных камней. М., 2005. Режим доступа: www.catalogmineralov.ru
3. *Леонович А.А.* Технология древесных плит: прогрессивные решения: учеб. пособие. СПб.: Химиздат, 2005. 208 с.
4. *Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д.* Подготовка древесного волокна в производстве древесноволокнистых плит // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 60–64. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Шалашов А.П., Стрелков В.П.* Тенденции и проблемы в производстве древесноволокнистых плит // 12-я Междунар. науч.-практ. конф. «Древесные плиты: теория и практика» / Под ред. А.А. Леоновича. СПб., 2009. С. 9–15.

Поступила 17.05.11

A.V. Antonov¹, N.A. Petrusheva², Yu.D. Alashkevich²

¹Research and Development Center of the Siberian Branch of the Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia

²Siberian State Technological University

Production of Flame-Retarded Hardboard

The results of experimental studies into the dependence of hardboard flammability on concentration of exfoliated vermiculite in a wood-fiber composition.

Key words: semi, finished wood, fiber product, vermiculite, flammability.

УДК 621.82

Ф.В. Пошарников, А.В. Усиков, А.И. Серебрянский

Воронежская государственная лесотехническая академия

Пошарников Феликс Владимирович родился в 1938 г., окончил в 1960 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор технических наук, академик, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 150 печатных работ в области механизации производственных процессов лесовосстановления, комплексной механизации работ в лесных питомниках.
E-mail: tolp@vglta.vrn.ru



Усиков Алексей Васильевич родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, аспирант кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА. Имеет 12 печатных работ в области изучения трения и износа.
E-mail: tolp@vglta.vrn.ru



Серебрянский Алексей Иванович родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства ВГЛТА. Имеет 60 печатных работ в области изучения трения и износа.
E-mail: gjdblkj@yandex.ru



ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Предложено использовать в качестве антифрикционного материала в узлах трения-скольжения деревообрабатывающего оборудования антифрикционный композитный полимер с металлическим наполнителем. Представлен тепловой расчет и графически проиллюстрирована зависимость коэффициента трения от температуры трения при различных режимах работы подшипников скольжения с полимерным вкладышем.

Ключевые слова: композиционный материал, полимер, надежность, коэффициент трения, полиамиды, наполнитель, подшипник скольжения, поверхность трения, температура, теплопроводность.

В лесной промышленности широко используется деревообрабатывающее оборудование различного назначения. Его надежность зависит от многих параметров, узлы трения – одно из самых слабых звеньев любого механизма. Отличительной особенностью работы узлов трения в деревообрабатывающем оборудовании являются: высокие контактные давления; динамические и вибра-

ционные нагрузки; загрязненность абразивом; недостаток смазки, из-за чего происходит увеличение износа и нарушение кинематической точности сопряжения.

Эту проблему можно решить использованием в узлах трения лесопромышленного оборудования новых перспективных антифрикционных материалов, например полимеров. Полимерные материалы позволяют решать ряд технических задач, направленных на повышение надежности работы и увеличение срока службы оборудования, обладают высокими антифрикционными свойствами при работе в узлах трения без подачи смазки. Однако их широкое использование сдерживается тем, что они имеют низкую теплопроводность и, как следствие этого, невысокую теплостойкость, а при повышенных температурах – низкую износостойкость.

Для устранения этих недостатков необходимо обеспечить отвод теплоты из зоны трения. Нами предложено включить металлический наполнитель в структуру полимерного подшипника скольжения. Ранее для этого использовали металлические каркасы, сетки и т.д., которые армировали подшипник и одновременно способствовали отводу теплоты из зоны контакта. Недостатки их заключались в том, что они непосредственно не контактировали с валом, что снижало их эффективность как теплопроводного элемента, кроме того, изготовление таких подшипников было сложным и трудоемким.

Нами предлагается ввести в структуру подшипника мелкую стружку из материала с хорошей теплопроводностью. Для этого можно использовать графит, дисульфид молибдена, медь, свинец, титан или бронзу. Однако мы отказались от этих дорогих материалов и в качестве наполнителя использовали металлическую стружку из малоуглеродистой стали. Для повышения эффективности теплопроводной способности наполнителя при формировании подшипника осуществляется воздействие постоянным магнитным полем, в процессе которого металлические опилки, как ферромагнитный материал, выстраиваются в виде цепочек, так как один полюс магнита размещен внутри втулки, другой – с ее внешней стороны. При этом цепочки вступают в контакт с валом. Поскольку валы, как правило, изготовлены из твердых сортов стали и подвергнуты термообработке, более мягкие материалы наполнителя не изнашивают вал, но за счет непосредственного контакта с ним хорошо отводят тепло. Теплопроводные мостики выстраиваются по линиям магнитного поля, которые должны быть распределены перпендикулярно оси втулки [3]. Оптимальное содержание металлического наполнителя – 15...20 % по массе. Небольшое количество наполнителя из малоуглеродистой стали не способствует образованию абразивного износа в подшипнике скольжения, зачастую происходит избирательный перенос.

Рациональную толщину стенки втулки S для диаметров соединения $d = 20...200$ мм подбирают из выражения $S = (0,050...0,075)d$. Для антифрикционной втулки нами использован композиционный материал, толщина стенки втулки 4 мм. Благодаря металлическому наполнителю в антифрикционной втулке одна часть теплоты из зоны трения отводится через металлический вал,

другая – через корпус подшипника. Температура антифрикционного слоя зависит от соотношения количества теплоты, возникающей в подшипнике в результате трения, и количества теплоты, передаваемой в окружающее пространство.

Схема подшипникового узла с применением втулки из наполненного полимера представлена на рис. 1.

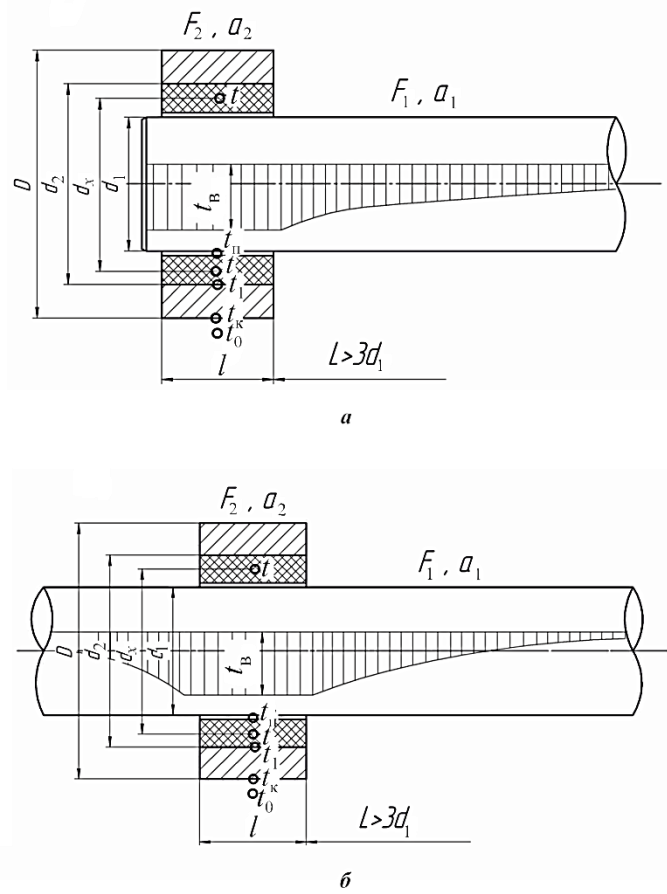


Рис. 1. Схема подшипникового узла с применением наполненного полимера: *a* – концевой подшипник; *б* – срединный подшипник; d_1 – диаметр вала в зоне трения; d_2 – наружный диаметр подшипника; D – наружный диаметр корпуса подшипника; l – длина подшипника; L_1 и L_2 – длина вала с интенсивным теплообменом в левую и правую сторону от подшипника соответственно

Расчет на нагрев основывается на предположении, что тепло, образующееся при трении, отводится в окружающую среду через поверхность вала и частично через корпус подшипника, так как теплопроводность полимера

($\lambda_2 = 0,1 \dots 1,0$ Вт/(м·°С)) с металлическим наполнителем намного ниже теплопроводности стали ($\lambda_1 = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С)). В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла трения образуется теплота на опорной площади подшипника, ограниченной углом контакта θ . Антифрикционный композитный полимер с металлическим наполнителем позволяет отводить одну ее часть в окружающую среду через корпус подшипника. Снижение температуры в зоне трения способствует расширению применения данного композиционного материала в подшипниках скольжения при частых пусках и остановках с недостаточным количеством смазки (например, подающий механизм пилы в продольно-поперечном раскрывочном лесообрабатывающем оборудовании) [1, 4].

На поверхности узла трения действует тепловой источник, количество выделившийся при работе подшипника теплоты определяется по следующей формуле:

$$Q = \frac{ldf}{427}pv, \quad (1)$$

где Q – удельная мощность подшипника, Вт/м²;
 l – длина подшипника, м;
 d – диаметр подшипника, м;
 f – коэффициент трения;
 $1/427$ – тепловой эквивалент механической энергии, ккал/(кг·м);
 p – среднее удельное давление, Н/м²;
 v – скорость скольжения, м/с.

В процессе фрикционного взаимодействия рабочих поверхностей узла трения в зоне контакта образуется теплота. Избыточная температура отводится через вал в радиальном и осевом направлениях (рис. 1). За пределами опорной площади подшипника температура рабочей поверхности уменьшается: чем дальше от зоны трения, тем она меньше [2].

При работе подшипника скольжения, когда вал вращается относительно неметаллического слоя, температура поверхности t_n трения втулки будет некоторой функцией расстояния r_x выбранной точки от оси цилиндра и угла θ :

$$t_n = u(r_x, \theta). \quad (2)$$

Вид функции (2) зависит от угла контакта неметаллического антифрикционного слоя втулки с поверхностью вала, коэффициента теплопроводности λ_2 неметаллического слоя, толщины самой втулки, режима работы узла трения и др. факторов. Так как наибольшая температура антифрикционного слоя наблюдается в зоне контакта трущихся поверхностей, где она может быть принята постоянной при $\theta = 90 \dots 120$ °, то распределение температуры в рассматриваемой зоне можно считать функцией только r_x [1, 5].

В данном случае температура внутри втулки

$$t = t_n - \frac{t_n - t_1}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \ln \frac{d_x}{d_1}, \quad (3)$$

где t_1 – температура на внешней поверхности исследуемой антифрикционной полимерной втулки;

d_2 – наружная цилиндрическая поверхность антифрикционной втулки,
 $d_2 = 2r_2$;

d_1 – внутренняя поверхность втулки, $d_1 = 2r_1$;

d_x – расстояние выбранной точки в композиционной втулке от оси цилиндра.

Так как в узле трения наружная поверхность втулки плотно соприкасается с металлическим корпусом подшипника, то на всей исследуемой поверхности в момент наступления стационарного теплового режима t_1 можно считать постоянной благодаря хорошей теплопроводности металла корпуса ($\lambda_1 = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С)). Эту величину можно определить из теплового баланса:

$$Q_2 = Q_n, \quad (4)$$

где Q_2 – количество теплоты, прошедшее через антифрикционный слой (в случае применения полимеров с металлическим наполнителем) и металлический корпус подшипника, Вт/м²;

Q_n – количество теплоты, отданное корпусом подшипника в окружающую среду, Вт/м².

При установившемся тепловом режиме перепад температур между внутренней и наружной поверхностями металлического корпуса подшипника $\Delta t = t_1 - t_k$ является незначительным, поэтому можно принять $t_1 \approx t_k$.

Количество теплоты, прошедшее через антифрикционный слой композиционного полимера и металлический корпус подшипника:

$$Q_2 = \frac{\theta \lambda_2 l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (t_n - t_k); \quad (5)$$

$$Q_n = \alpha_2 F'_2 (t_k - t_0), \quad (6)$$

где l – длина опоры подшипника, м;

α_2 – коэффициент теплоотдачи от корпуса подшипника в окружающую среду, Вт/(м²·°С);

F'_2 – внешняя площадь поверхности корпуса подшипника, м²;

t_k – температура наружной поверхности корпуса подшипника, °С;

t_0 – температура окружающего воздуха, °С.

Теплопроводность полимерного вкладыша с металлическим наполнителем определяется как

$$\lambda_2 = n_a \lambda_a + n_p \lambda_p, \quad (7)$$

где n_a и n_p – объемные доли компонентов (сталь, полимер);

λ_a и λ_p – теплопроводности материалов (сталь, полимер).

Теплопроводность стали $\lambda_a = 40 \dots 50$ Вт/(м·°С), а теплопроводность полимера $\lambda_p = 0,2 \dots 0,3$ Вт/(м·°С). Принимая во внимание, что содержание металлического наполнителя не превышает 20 %, теплопроводность композиционного материала $\lambda_2 = 0,4 \dots 0,7$ Вт/(м·°С).

Определив количество теплоты, отводимого из зоны трения металлическим корпусом подшипника скольжения, можно сделать выводы о распределении теплового потока и, следовательно, о возможности работы данного композиционного антифрикционного материала в узлах трения. В прямой паре трения значительная часть теплоты отводится вращающимся валом, меньшая – через корпус подшипника.

Для определения температуры на внешней поверхности исследуемой втулки подставим выражения (5) и (6) в равенство (4) с учетом $t_1 \approx t_R$:

$$t_1 = \frac{\theta \lambda_2 l t_n + \alpha_2 F_2' \ln \frac{d_2}{d_1} t_0}{\theta \lambda_2 l + \alpha_2 F_2' \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (8)$$

Определив температуру на внешней поверхности исследуемой полимерной втулки с металлическим наполнителем, можно установить какое количество теплоты отводится наружной поверхностью подшипника скольжения. На рис. 2 показано распределение температуры в зависимости от вида материала. Композиционный материал с металлическим наполнителем (кривая II) позволяет отводить тепло через внешнюю поверхность корпуса подшипника скольжения.

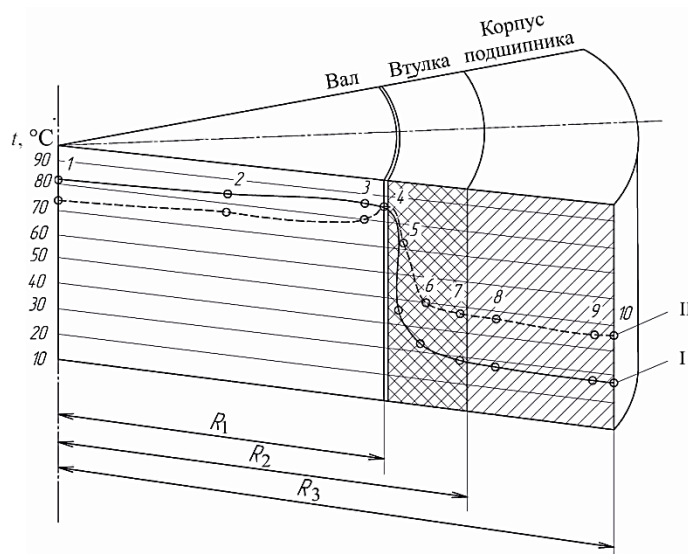


Рис. 2. Распределение температуры в подшипнике скольжения с полимерной втулкой ($S = 4$ мм): I – чистый полиамид (капролон); II – полиамид, наполненный металлической стружкой под действием магнитного поля; 1 – 10 – точки замера

Подставив значение t_1 в выражение (3), получим формулу для распределения температуры в полимерном антифрикционном материале на участке, ограниченном углом θ :

$$t = t_n - \frac{t_n - t_0}{\ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{\theta \lambda_2 l}{\alpha_2 F_2'}} \ln \frac{d_x}{d_1}. \quad (9)$$

Полученное значение температуры полимерного композиционного материала сравним с предельно допускаемой температурой $[t]$ из справочной литературы для данного материала: $t \leq [t]$.

Если условие выполняется – расчет окончен, если нет, то необходимо изменить размеры вкладыша и улучшить условия теплообмена или за счет снижения толщины антифрикционного слоя, или за счет увеличения количества металлического наполнителя до предельной величины.

В работе особое внимание было уделено зависимости коэффициента трения термопласта от температуры (рис. 3, а). Зависимость коэффициента трения от температуры резко выражена у капролона, у композиционного материала с металлическим наполнителем эта зависимость менее явная [6].

На рис. 3, б показана зависимость коэффициента сухого трения исследованных материалов от давления.

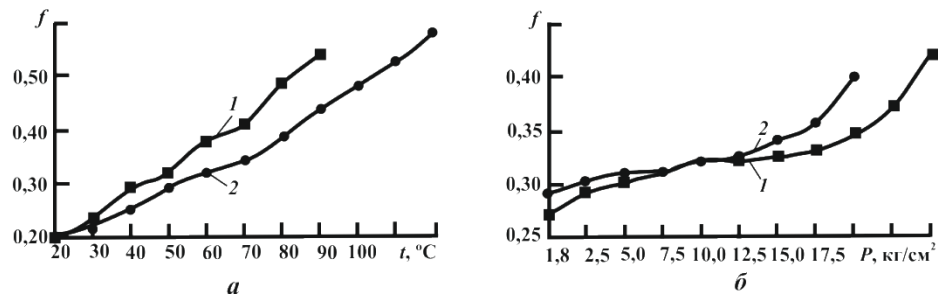


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения f от температуры t (а) при $P = 7,2$ МПа и удельной нагрузки P (б) на подшипник скольжения ($V = 0,78$ м/с; $\Delta = 0,3$ мм): 1 – капролон; 2 – композиционный материал на основе капролона с металлическим наполнителем (20 %) под действием магнитного поля

Таким образом, снижение температуры в зоне контакта трущихся поверхностей позволит использовать полимерные материалы в узлах трения лесобрабатывающего оборудования при тяжелых режимах работы. При снижении температуры в зоне трения подшипника снижается и коэффициент трения, что подтверждено лабораторными исследованиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшиц И.Я., Анисимов Н.Ф., Благов Б.Н. Проектирование деталей из пластмасс: справ. М., Машиностроение, 1969. 243с.
2. Основы трибологии: (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов /А.В. Чичинадзе [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
3. Платонов В.Ф. Подшипники из полиамидов. М.: Машгиз, 1967. 111 с.
4. Пошарников Ф.В., Серебрянский А.И., Усиков А.В. Исследование вращательного процесса трения в подшипниках скольжения лесообрабатывающего оборудования // Лесотехн. журн. 2011. № 2(2). С. 92–95.
5. Пошарников Ф.В., Усиков А.В. Снижение температурной напряженности в подшипниках скольжения с полимерными антифрикционными материалами // Учен. записки ПетрГУ. Сер. «Естеств. и техн. науки». 2010. № 8 (113). С. 76–78.
6. Усиков А.В. Повышение износостойкости подшипников скольжения в лесообрабатывающем оборудовании при использовании полимерного материала, армированного металлической стружкой // Политемат. сетевой электрон. науч. журн. КубГАУ. 2011. № 74 (10). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/31.pdf>

Поступила 05.02.10

F.V. Posharnikov, A.V. Usikov, A.I. Serebryansky
Voronezh State Academy of Forestry Engineering

Use of Polymer-Based Composite Material in Friction Units of Woodworking Equipment

It is proposed to use antifriction composite polymer with a metal filler as an antifriction material in sliding friction units of woodworking equipment. A thermal design with the proposed material has been presented. The dependence of the friction coefficient on the friction temperature under various operation modes of slider bearings with polymeric bushing is illustrated graphically.

Key words: composite material, polymer, reliability, friction coefficient, polyamides, filler, slider bearing, friction surface, temperature, thermal conductivity.





ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.164.3.023.1.

Ф.Х. Хакимова, К.А. Синяев, Т.Н. Ковтун

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Хакимова Фирдавес Харисовна родилась в 1938 г., окончила в 1965 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета, засл. работник высшей школы РФ. Имеет более 150 печатных работ в области теории и технологии целлюлозы.
E-mail: tcbp@pstu.ru



Синяев Константин Андреевич родился в 1983 г., окончил в 2009 г. Пермский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета. Имеет 3 печатные работы в области отбелки целлюлозы.
E-mail: tcbp@pstu.ru



Ковтун Татьяна Николаевна родилась в 1951 г., окончила в 1975 г. Пермский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Пермского национального исследовательского политехнического университета. Имеет более 90 печатных работ в области теории и технологии целлюлозы.
E-mail: tcbp@pstu.ru



ОТБЕЛКА СУЛЬФАТНОЙ ХВОЙНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО ЕСФ-ТЕХНОЛОГИИ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА И ХЛОРИТОМ НАТРИЯ

Исследована отбелка сульфатной хвойной целлюлозы по ЕСФ-технологии с использованием пероксида водорода в кислой среде с последующей щелочной обработкой и отбелкой хлоритом натрия в две ступени с промежуточным щелочением (Пк-Щ-Хл₁-ЩП-Хл₂-К). Получены уравнения регрессии и оптимизированы условия ступени делигнификации и Хл₁. Приведены сравнительные характеристики небеленой и отбеленной по предлагаемой схеме целлюлозы.

Ключевые слова: сульфатная хвойная целлюлоза, ЕСФ-технология, пероксидная делигнификация, отбелка хлоритом натрия, эксперимент, план Бокса, программный пакет Statgraphics Plus Version 5.0, уравнения регрессии, оптимизация, беленая целлюлоза, показатели качества.

Основной тенденцией в развитии технологии отбеливания технической целлюлозы является повышение конкурентоспособности беленой целлюлозы при соблюдении требований по охране окружающей среды. В современных условиях внедрение экономичных и экологически более безопасных способов отбеливания целлюлозы – одно из важнейших требований к разрабатываемым схемам и технологиям отбеливания. Этим требованиям, в известной мере, удовлетворяет получение беленой целлюлозы по TCF и ECF-технологиям. Последняя считается наиболее удачной и экономически целесообразной на сегодняшний день.

Традиционная ECF-отбеливание целлюлозы включает в себя последовательные стадии кислородно-щелочной делигнификации (КЩО), обработки диоксидом хлора (Д), щелочью (Щ) и пероксидом водорода (П) или диоксидом хлора. Использование кислородно-щелочной делигнификации (вместо хлорно-щелочной) в некоторой степени снижает отрицательное воздействие на окружающую среду за счет исключения из отбеливания молекулярного хлора и устранения из отработанных щелоков токсичных соединений хлора и хлорлигнина. Однако при КЩО отмечено появление токсичных веществ в газовых выбросах [4].

Экологически более безопасной представляется делигнификация пероксидом водорода в щелочной среде (Пд) с включением в схему отбеливания предварительного окислительного щелочения (Щп). Экологическая безопасность такой делигнификации будет даже выше, чем КЩО. Однако этот способ эффективен при отбеливании только сульфитной целлюлозы [5].

Представляет интерес и может быть рассмотрена как альтернатива КЩО обработка небеленой целлюлозы пероксидом водорода после предварительной кислотной-каталитической активации [1]. Автор данной работы считает, что при отбеливании лиственной сульфатной целлюлозы такая делигнифицирующая обработка дает лучшие результаты, чем КЩО, при значительно меньшей деструкции целлюлозы. Условия предварительной кислотной обработки достаточно приемлемы для производства, а экологическая безопасность такой делигнификации даже несколько выше, чем КЩО. При этом в работе [4] отмечено, что чем выше исходная жесткость целлюлозы, тем более эффективна обработка кислотой и последующая отбеливание пероксидом водорода.

Результаты работы [2] показали, что пероксид водорода, активированный молибдатом натрия (mP), – сравнительно недорогой метод делигнификации, который может быть внедрен на уже существующих отбеливающих установках без каких-либо значительных капитальных затрат. Авторами установлено, что mP-делигнификация сульфатной целлюлозы (число каппа 8...12) при 80 °С в течение 180 мин приводит к удалению из целлюлозы 40...50 % лигнина. Пероксомолибдат можно использовать для отбеливания как лиственной, так и хвойной целлюлозы. Делигнификация пероксидом водорода, активированным молибдатом натрия, успешно апробирована в промышленных условиях [2].

В данной работе представлены некоторые результаты исследований отбелки сульфатной целлюлозы по ЕСФ-технологии. В экспериментах использована сульфатная целлюлоза Марийского ЦБК с довольно высоким содержанием лигнина (число каппа 38,6 ед.) и следующими показателями механической прочности: разрывная длина – 11 690 м, сопротивление продавливанию – 390 кПа, раздиранию – 620 мН, излому – 950 ч.д.п.

В качестве делигнифицирующей ступени принята обработка целлюлозы пероксидом водорода в кислой среде (Пк). В отличие от описанного выше варианта катализатор (молибдат натрия) для активации пероксида водорода используется при отбелке вместе с пероксидом водорода. Кислая среда обеспечивается дозировкой серной кислоты.

Традиционно отбелку сульфатной целлюлозы после делигнифицирующих ступеней обработки проводят диоксидом хлора, обладающим хорошей избирательностью и высоким окислительным потенциалом. Однако существенным недостатком его является высокая взрывоопасность и, соответственно, невозможность транспортировки. Поэтому производство диоксида хлора сосредоточено на целлюлозно-бумажных предприятиях.

В целях упрощения технологии отбелки сульфатной целлюлозы вместо диоксида хлора использовали хлорит натрия, который по окислительному потенциалу и избирательности близок к диоксиду хлора, но обладает устойчивостью, достаточной для транспортировки в кристаллизованном состоянии. Его растворы стабильны даже на свету. На данный момент есть информация о применении этого отбеливающего реагента на американском предприятии. Кроме того, замена диоксида хлора на хлорит натрия позволит либо избежать строительства специального цеха для производства диоксида хлора, либо исключить этот взрывоопасный участок из состава предприятия, если он уже имеется.

Традиционно при отбелке сульфатной целлюлозы между двумя ступенями отбелки диоксидом хлора в кислой среде проводится щелочная обработка. В данном случае принято окислительное щелочение с добавлением к щелочи небольшого количества пероксида водорода, что дополнительно позволяет снизить загрязненность стоков, сократить расход отбеливающего реагента на последующей ступени и повысить конечную белизну целлюлозы, т. е. схема отбелки будет иметь вид: Xl_1 -ЩП- Xl_2 [3, 6].

Таким образом, схема отбелки сульфатной целлюлозы по ЕСФ-технологии путем пероксидно-щелочной делигнификации с последующей двухступенчатой отбелкой хлоритом натрия и промежуточным окислительным щелочением имеет следующий вид: Пк-Щ- Xl_1 -ЩП- Xl_2 -К.

Были разработаны условия проведения каждой из ступеней, а также поставлены два эксперимента по плану Бокса (при $m = 3$) с целью оптимизации условий обработки целлюлозы на ступенях Пк (стадия Пк-Щ) и Xl_1 . В экспериментах изучалось влияние на свойства целлюлозы таких факторов, как расход пероксида водорода и хлорита натрия, а также температура и продолжи-

тельность процессов. В качестве выходных параметров в обоих планах (№ 1 и № 2) были выбраны выход целлюлозы, степень провара и белизна.

Переменные факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 1.

В ходе эксперимента № 1 (делигнификация Пк-Щ) факторы процесса варьировали только на ступени Пк, а последующую щелочную обработку проводили при постоянных условиях (концентрация массы 10 %, расход щелочи 1,5 %, температура 60 °С, продолжительность 60 мин). Приведенные значения выходных параметров соответствуют обработке по схеме Пк-Щ.

Для статистического анализа результатов экспериментов и оптимизации процессов использовали программный пакет Statgraphics Plus Version 5.0.

Результаты реализации плана эксперимента № 1 приведены в табл. 2.

Таблица 1

Переменные факторы ступеней отбелки Пк и Хл₁ и пределы их варьирования

Номер эксперимента – ступень обработки	Переменные факторы и интервалы варьирования		
	Расход реагента (X_1), % от абс. сухого волокна	Температура (X_2), °С	Продолжительность процесса (X_3), мин
№ 1 – Пк	H ₂ O ₂ – 1,0...5,0	60...90	60...180
№ 2 – Хл ₁	NaClO ₂ – 1,5...5,0	60...90	100...180

Таблица 2

План эксперимента № 1 и результаты его реализации

Экспериментальные точки	Натуральные значения переменных факторов			Выходные параметры		
	X_1 , %	X_2 , °С	X_3 , мин	Степень провара (y_1), п.е.	Выход (y_2), %	Белизна (y_3), %
1	5,0	90	180	63	91,7	41,1
2	1,0	90	180	96	96,3	36,1
3	5,0	60	180	66	93,2	43,7
4	1,0	60	180	97	96,5	37,2
5	5,0	90	60	66	94,7	40,9
6	1,0	90	60	97	96,7	36,1
7	5,0	60	60	78	96,3	41,7
8	1,0	60	60	100	97,1	36,5
9	5,0	75	120	69	94,8	42,5
10	1,0	75	120	99	96,8	37,0
11	3,0	90	120	75	94,8	38,7
12	3,0	60	120	78	95,5	40,6
13	3,0	75	180	73	93,8	39,5
14	3,0	75	60	78	95,5	39,0

Для всех выходных параметров построены стандартизованные карты Парето и графики диагностики отклонения ошибок прогноза значений выходных параметров от нормального распределения.

На основании данных карт Парето после исключения статистически незначимых эффектов получены уравнения регрессии для следующих выходных параметров:

степень провара

$$y_1 = 76,0 - 14,71x_1 - 2,19x_2 - 2,41x_3 + 7,11x_1^2 - 1,3875x_1x_2 - 1,3625x_1x_3 + 1,3625x_2x_3;$$

выход

$$y_2 = 95,1462 - 1,27x_1 - 0,44x_2 - 0,88x_3 + 0,657692x_1^2 - 0,3125x_1x_2 - 0,6375x_1x_3 - 0,492308x_3^2;$$

белизна

$$y_3 = 39,7 + 2,7x_1 - 0,68x_2 + 0,34x_3 - 0,3125x_2x_3 - 0,52x_3^2.$$

Показатель «белизна» для ступени делигнификации менее характерен.

Результаты реализации плана эксперимента № 2 (отбелка хлоритом натрия – Хл₁) приведены в табл. 3.

Таблица 3

План эксперимента № 2 и результаты его реализации

Экспериментальные точки	Натуральные значения переменных факторов			Выходные параметры		
	X ₁ , %	X ₂ , °С	X ₃ , мин	Степень провара (y ₁), п.е.	Выход (y ₂), %	Белизна (y ₃), %
1	5,0	90	180	11	92,9	64,7
2	2,0	90	180	20	93,8	53,8
3	5,0	60	180	19	93,2	62,6
4	2,0	60	180	23	94,3	60,2
5	5,0	90	100	13	93,2	70,0
6	2,0	90	100	24	93,9	53,7
7	5,0	60	100	20	94,4	69,5
8	2,0	60	100	31	94,9	58,0
9	5,0	75	140	23	94,0	61,3
10	2,0	75	140	29	94,7	49,8
11	3,5	90	140	24	93,2	64,0
12	3,5	60	140	28	94,0	66,8
13	3,5	75	180	24	93,8	61,0
14	3,5	75	100	27	94,3	61,2

Из данных стандартизованных карт Парето после исключения статистически незначимых эффектов получены уравнения регрессии для следующих выходных параметров:

степень провара

$$y_1 = 28,6875 - 4,1x_1 - 2,9x_2 - 1,8x_3 - 2,6875x_1^2 - 2,6875x_2^2 - 3,1875x_3^2;$$

выход

$$y_2 = 94,0875 - 0,39x_1 - 0,38x_2 - 0,27x_3 + 0,2625x_1^2 - 0,1x_1x_3 - 0,4875x_2^2 + 0,175x_2x_3;$$

белизна

$$y_3 = 60,5731 + 5,26x_1 - 1,09x_2 - 1,01x_3 - 4,49615x_1^2 + 1,6625x_1x_2 - 1,8125x_1x_3 + 5,35385x_2^2.$$

Во всех случаях скорректированный коэффициент детерминации $R^2 = 96,9...99,06\%$.

Результаты расчетов оптимальных режимов проведения ступеней Пк и Хл₁ приведены в табл. 4, данные отбелки по оптимальным режимам – в табл. 5.

Таблица 4

Результаты расчетов оптимальных условий делигнификации и отбелки хлоритом натрия

Номер эксперимента – ступень обработки	Расход реагентов, % от абс. сух. волокна	Температура, °С	Продолжительность процесса, мин
№ 1 – Пк	H ₂ O ₂ – 4,68	89,93	133,52
№ 2 – Хл ₁	NaClO ₂ – 4,81 ед. акт. хлора (1,83 ед. ClO ₂)	81,98	116,14

Таблица 5

Расчетные и экспериментальные результаты отбелки по оптимальным режимам

Выходные параметры	Значения выходных параметров	
	расчетные	экспериментальные
Выход, %	95,5/93,9	95,9/94,0
Степень провара, п.е.	64,8/17,4	64,0/18,0
Белизна, %	– /66,2	– /66,3

Примечание. В числителе приведены данные для № 1 – Пк-Щ, в знаменателе – для № 2 – Хл₁.

Отбелка целлюлозы была проведена по схеме Пк-Щ-Хл₁-ЩП-Хл₂-К. Условия отбелки по ступеням представлены в табл. 6, характеристики исходной целлюлозы и образцов целлюлозы, отбеленных по схемам Пк-Щ, П-Щ-Хл₁ и Пк-Щ-Хл₁-ЩП-Хл₂-К, приведены в табл. 7.

Отбелку на ступени Хл₂ проводили при тех же условиях, что и Хл₁, только с меньшим расходом хлорита натрия.

Таблица 6

Условия обработки и расход реагентов, % от абс. сух. волокна сульфатной целлюлозы, на отдельных ступенях отбелки

Реагенты и условия обработки	Ступень обработки					
	Пк(опт.)-Щ		Хл ₁ (опт.)	ЩП	Хл ₂	К
	Пк	Щ				
H ₂ O ₂	4,7	–	–	0,2	–	–
H ₂ SO ₄	1,0	–	–	–	–	–
Na ₂ MoO ₄	0,5	–	–	–	–	–
NaOH	–	1,5	–	1,5	–	–
NaClO ₂ :						
ед. акт. хлора	–	–	4,81	–	3,2	–
ед. ClO ₂	–	–	1,83	–	1,2	–
HCl			1,5		1,5	1,5
Температура, °С	90	60	82	70	82	15...20
Продолжительность, мин	135	60	120	120	120	30

Примечание. Концентрация массы на всех ступенях отбелки – 10 %, при кисловке – 5 %.

Таблица 7

Сравнительная характеристика небеленой и отбеленных при оптимальных условиях образцов целлюлозы

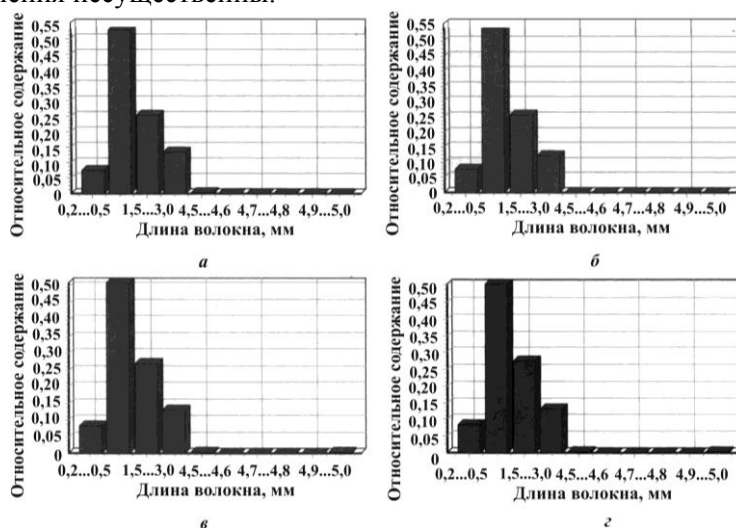
Показатели	Значения показателей целлюлозы			
	исходной	после отбелки по схеме		
		Пк-Щ	Пк-Щ-Хл ₁	Пк-Щ-Хл ₁ -ЩП-Хл ₂ -К
Степень провара, п.е.	118	64	18	4
Степень делигнификации, ед. каппа	38,6	16,4	5,6	2,2
Массовая доля лигнина в целлюлозе, %	5,79	2,47	0,83	0,38
Выход, % от небеленой целлюлозы	–	95,5	93,3	90,7
Средневзвешенная длина волок- на (на аппарате Иванова)*, мм	2,29	2,23	1,96	1,92
Результаты фракционирования на анализаторе L&W Fiber Tester:				
средняя длина волокна, мм	1,614	1,563	1,622	1,615
доля мелочи, %	4,1	4,2	4,1	4,0
грубость волокна, мкг/м	172,6	...	129,7	141,1

Окончание табл. 7

Показатели	Значения показателей целлюлозы			
	исходной	после отбелки по схеме		
		Пк-Щ	Пк-Щ-Хл ₁	Пк-Щ-Хл ₁ -ЩП-Хл ₂ -К
Показатели механической прочности (60 °ШР, 75 г/м ²):				
а) разрывная длина, м	11 690	10 630	9 550	8 840
б) сопротивление:				
продавливанию, кПа	390	310	290	280
излому, ч.д.п.	950	1050	890	790
Обезвоживаемость*, с	11	10	12	10
Медное число	0,20	0,54	0,58	0,42
Растворимость в цинкате натрия, %	15,83	17,83	16,95	16,07
Белизна, %	–	41,5	66,3	87,5
Реверсия белизны, Рс	–	2,75	2,04	0,75

* Определена при степени помола 25 °ШР.

Из данных табл. 7 следует, что пероксидная делигнификация целлюлозы жесткостью 118 п.е. (число каппа 38,6) позволяет снизить число каппа и массовую долю лигнина в целлюлозе более чем в 2 раза при довольно низких потерях целлюлозы (общие потери 4,5 %, из которых 3,3 % – лигнин). Дальнейшая обработка хлоритом натрия в две ступени с промежуточной окислительной щелочной обработкой снижает выход целлюлозы дополнительно на 5 %, из которых 2 % – лигнин. Изменения механических свойств и показателей, характеризующих степень окислительной деструкции целлюлозы, происходит главным образом на ступени пероксидной делигнификации, однако эти изменения незначительны.



Диаграммы распределения целлюлозных волокон по длине: а – исходная целлюлоза; б – после Пк-Щ; в – после Пк-Щ-Хл₁; з – беленая

Из рисунка следует, что фракционный состав целлюлозы по длине волокон в процессе отбелки изменяется незначительно и лишь на ступени пероксидной делигнификации, что выражается в некотором повышении доли мелких волокон (0,2...0,5 мм) и уменьшении доли длинных волокон (3,0...4,5). Это свидетельствует о довольно мягком делигнифицирующем воздействии на целлюлозу обработки пероксидом водорода в кислой среде с последующим щелочением.

На ступенях отбелки хлоритом натрия изменения определенных нами показателей также весьма умеренные. Происходят они в соответствии со степенью делигнификации целлюлозы, т.е. главным образом на первой ступени. При этом фракционный состав волокон по длине на этих ступенях отбелки практически не изменяется.

Грубость волокон, т.е. масса волокна на единицу длины, существенно снижается в процессе делигнификации целлюлозы, что означает улучшение проницаемости волокон и, соответственно, более эффективную отбелку на последующих ступенях. Снижение данного показателя в результате отбелки по полной схеме, вероятно, будет способствовать повышению эффективности размола целлюлозы.

Доля мелочи, т.е. числа волокон короче 0,2 мм относительно числа волокон длиннее 0,2 мм, в процессе отбелки изменяется незначительно в соответствии с делигнификацией целлюлозы. Все это свидетельствует о весьма мягком делигнифицирующем и отбеливающем воздействии на целлюлозу принятой схемы отбелки.

Таким образом, результаты исследований показали, что при отбелке сульфатной целлюлозы возможно и целесообразно использование пероксидно-щелочной делигнификации и отбелки хлоритом натрия (вместо ClO_2). Отбелка по ЕСF-схеме (Пк-Щ-Хл₁-ЩП-Хл₂-К) позволяет получить целлюлозу белизной 87,5 % при сохранении показателей механической прочности на уровне, соответствующем требованиям ГОСТ 9571 для беленой целлюлозы марки ХБ-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин В.А. Активация и окисление лигнина в процессах отбелки сульфатной целлюлозы. 1. Механизм активации и окисления пероксидом водорода // Химия древесины. 1994. № 3. С. 29–37.
2. Парен А., Якара Й. Использование пероксомолибдата при ЕСF-отбелке сульфатной целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1999. № 1-2. С. 20–23.
3. Пат. 2347864 РФ. Способ отбелки лиственной сульфатной целлюлозы / Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Носкова О.А. Заявл. 27.02.2009.
4. Федорова Э.И., Кузванова А.В. Проблемы отбелки сульфатной целлюлозы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 5. С. 52–54.
5. Хакимова Ф.Х., Назимов Д.Р., Ковтун Т.Н. Отбелка сульфитной целлюлозы пероксидом водорода без хлорсодержащих реагентов (сообщения 1 и 2) // Лесн. журн. 1999. №1. С. 93–101. (Изв. высш. учеб. заведений).

6. *Хакимова Ф.Х., Синяев К.А.* Исследования отбелки бисульфитной целлюлозы хлоритом натрия // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 5. С. 44–48.

Поступила 13.10.11

F.Kh. Khakimova, K.A. Sinyaev, T.N. Kovtun

Perm National Research Polytechnic University

ECF Bleaching of Sulphate Softwood Pulp by Hydrogen Peroxide and Sodium Chlorite

ECF bleaching of sulphate softwood pulp is investigated using the following bleaching sequence: Pa-E-Chl₁-E_p-Chl₂-A, where Pa is peroxide delignification in acidic medium, E – alkaline extraction, Chl – bleaching by sodium chlorite, E_p – alkaline extraction with addition of peroxide, A - acidification. Regression equations are worked out and conditions of Pa and Chl₁ stages are optimized. Comparative characteristics of bleached and nonbleached pulp according to the above sequence are provided.

Key words: sulphate softwood pulp, ECF bleaching, peroxide delignification, pulp bleaching by sodium chlorite, experiment, box plan, Statgraphics Plus Version 5.0, regression equations, optimization, bleached pulp, quality indexes.



УДК 676.017

Е.И. Васильева, А.С. Смолин, О.А. Удовенко, Р.О. Шабиев

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Васильева Екатерина Игоревна родилась в 1988 г., магистр Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров.
E-mail: katerina.i.vasilyeva@gmail.com



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



Удовенко Ольга Андреевна родилась в 1990 г., бакалавр Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, продолжает обучение в магистратуре.
E-mail: Olgaud0420@gmail.com



Шабиев Руслан Олегович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, аспирант и ассистент кафедры технологии бумаги и картона СПбГТУ РП. Имеет 4 печатные работы в области исследования электрокинетических свойств и испытания бумаги и картона.
E-mail: ncjob@ya.ru



ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ КАТИОННОЙ ПОТРЕБНОСТИ В ВОЛОКНИСТЫХ ГИДРОСУСПЕНЗИЯХ

Рассмотрено влияние физико-химических параметров на результаты определения показателя катионной потребности волокнистых полуфабрикатов. Проанализирована его зависимость от точки отбора и композиции бумажной массы. Разработана упрощенная методика для определения показателя катионной потребности. Показана принципиальная возможность замены импортного титранта на отечественный аналог.

Ключевые слова: катионная потребность, коллоидное титрование, полиэлектролиты.

Показатель катионной потребности (*КП*) является мерой содержания интерферирующих веществ в волокнистом полуфабрикате и в потоке бумажной массы [5]. Его величина и характер изменения во многом определяют эффективность дозировки химических реагентов. Термин «катионная потреб-

ность» появился в технологии бумаги относительно недавно, после повсеместного снижения расхода сульфата алюминия и перехода на максимально замкнутый цикл водопользования. Результатом таких действий стало повышение содержания в потоке растворенных высокомолекулярных ионногенных отрицательно заряженных компонентов. Накопление этих нежелательных веществ связано с диффузией и переходом в раствор производных галактуроновых и глюкуроновых кислот, а в макулатурном потоке и в потоке брака, в том числе, – с присутствием окисленного крахмала, гуминовых кислот и т.д. [7]. Показано [10], что повышенная концентрация этих компонентов негативно сказывается на протекании основных технологических процессов и приводит к ухудшению удержания и обезвоживания бумажной массы, повышению содержания взвешенных веществ в подсеточной воде, увеличению колебаний влажности бумажного полотна и т.д.

Показатель катионной потребности выражается в единицах концентрации (иногда в миллиметрах) и показывает количество стандартного катионного полиэлектролита (ПЭ), израсходованного при титровании фильтрата для достижения точки эквивалентности. Обычно записывают: мкмоль/л или мкмоль/кг. Чем выше плотность заряда или концентрация стандартного титранта, тем меньше его потребуется для нейтрализации пробы. Титрантами являются различные ПЭ, а основным катионным реагентом считается полидиаллидиметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ – $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{CH}_3)-\text{CH}_2)\text{CH}-\text{CH}_2-]_n\text{Cl}^-$) с узким молекулярно-массовым распределением и средней относительной молекулярной массой, его применяют в паре с анионным ПЭ – полиэтиленсульфонатом натрия (ПЭСН). Метод анализа показателя *КП* с точки зрения фундаментальной науки относится к так называемому «коллоидному титрованию». Коллоидное титрование – это метод, при котором происходят кооперативные межмолекулярные реакции между макромолекулами ПЭ, приводящие к образованию полиэлектролитного комплекса. Данную методику используют в химии высокомолекулярных соединений для оценки плотности заряда или концентрации ионногенных групп в ПЭ. Детектирование точки эквивалентности осуществляют следующими способами: индикаторным (по изменению окраски индикатора), турбодиметрическим (по изменению мутности), потенциометрическим (по изменению рН), кондуктометрическим (по изменению проводимости) или электрокинетическим (по достижению изоэлектрического состояния, например на приборах типа SCD (streaming current detector) [9]). В качестве индикаторов наибольшее применение нашли ортотолуидиновой голубой (ОТГ), флуоресцентный толуидиновый, эозин желтый и т.д. В некоторых случаях используют модифицированные хромофорными группами ПЭ.

Несмотря на то, что уже сделаны определенные шаги в сторону стандартизации методики анализа показателя *КП* [8], тем не менее, полноценные исследования влияния различных факторов и условий проведения испытания на результаты титрования пока отсутствуют [4, 6, 7]. При разработке методики определения *КП* индикаторным способом использовали данные [1].

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали волокнистые полуфабрикаты предположительно с высоким показателем *КП* – сульфитную хвойную небеленую целлюлозу (ЦСФИ), беленую химико-термомеханическую массу (БХТММ) и следующие полиэлектролиты: катионный ПЭ (ПДАДМАХ – стандартный катионный титрант для проведения коллоидного титрования, ММ ~ 107 тыс., производство ВТГ (ФРГ)); анионный ПЭ (ПЭСН – стандартный анионный титрант для проведения коллоидного титрования, ММ ~ 19,7 тыс., производство ВТГ (ФРГ)); водорастворимый катионный ПЭ (ВПК-402 – промышленный продукт на основе ПДАДМАХ, ММ ~ 100...300 тыс., ТУ 2227-184-00203312-98, производство ОАО «Каустик» (Россия), используется для водоочистки).

Приготовление растворов полиэлектролитов

Поскольку растворы ПДАДМАХ и ПЭСН являются стандартными титрантами, то их титр-растворы (0,001 н) готовили согласно прилагаемым инструкциям, растворы ВПК-402 – последовательным разбавлением. Полученные растворы титровали 0,001 н ПЭСН для определения концентрации. Каждый раз после титрования катионных реагентов проводили титрование холодной пробы.

Подготовка фильтрата

Навеску полуфабриката (20 г а.с.в.) разрывали на маленькие кусочки и помещали в стакан, заливали 1000 см³ дистиллированной воды и выдерживали при комнатной температуре не менее 1 сут, но не более недели. Полученную массу концентрацией 20 г/л дезинтегрировали в течение 3 мин (зависимость *КП* от концентрации массы приводилась ранее в [3]), затем декантировали несколькими способами.

Перед началом коллоидного титрования определяли условия титрования и выбирали подходящие ПЭ. Содержание электролита изменяли добавлением NaCl в диапазоне 0,1; 0,01 и 0,001 н, что соответствует изменению проводимости в диапазоне 0,1255; 1,1660 и 10,5100 мСм/см. Для изменения рН добавляли 0,1 н HCl или NaOH в трех диапазонах – кислом (5,2...5,4), нейтральном (6,9...7,2) и щелочном (10,4...10,5); температуру варьировали от низкой (3...4 °С), комнатной (20...23 °С) до высокой (40...45 °С). Для получения необходимой температуры фильтрат разделяли на три части. Одну часть помещали в холодильник на 2 ч для достижения температуры 3...4 °С, избегая образования льда, другую ставили на плитку и нагревали до температуры 60...65 °С до момента интенсивного испарения фильтрата, третью оставляли при комнатной температуре. Таким же образом охлаждали и кипятили дистиллированную воду для холодной пробы. Проводимость и рН фильтратов определяли стандартными методами, температуру – по термодатчику. Показатели физико-химических свойств контролировали с помощью иономера Мультитест ИПЛ-111.

Методика индикаторного титрования

Из полученных фильтратов отбирали 10 см³ и вносили в колбу вместимостью 25 см³, куда добавляли 1...10 см³ катионного ПЭ и 3-4 капли 0,1 % ОТГ (раствор окрашивается в голубой цвет). После этого объем в колбе доводили до метки дистиллированной водой, содержимое колбы встряхивали несколько раз и переносили в стакан с магнитной мешалкой. Титрование выполняли с помощью механического дозатора ЛЕНПИПЕТ, для ускорения процесса выбирали шаг титрования 50 мкл. Для определения показателя катионной потребности (*KП*, мкмоль/кг) использовали следующую формулу:

$$KП = [(X-P)N]/(Vn),$$

где *X* – расход ПЭСН на титрование холостой пробы, см³;
P – расход ПЭСН на титрование фильтрата массы, см³;
N – концентрация ПЭСН, *N* = 0,001 н;
V – объем пробы, взятой на анализ, *V* = 10 мл;
n – навеска абс. сухой целлюлозы, г.

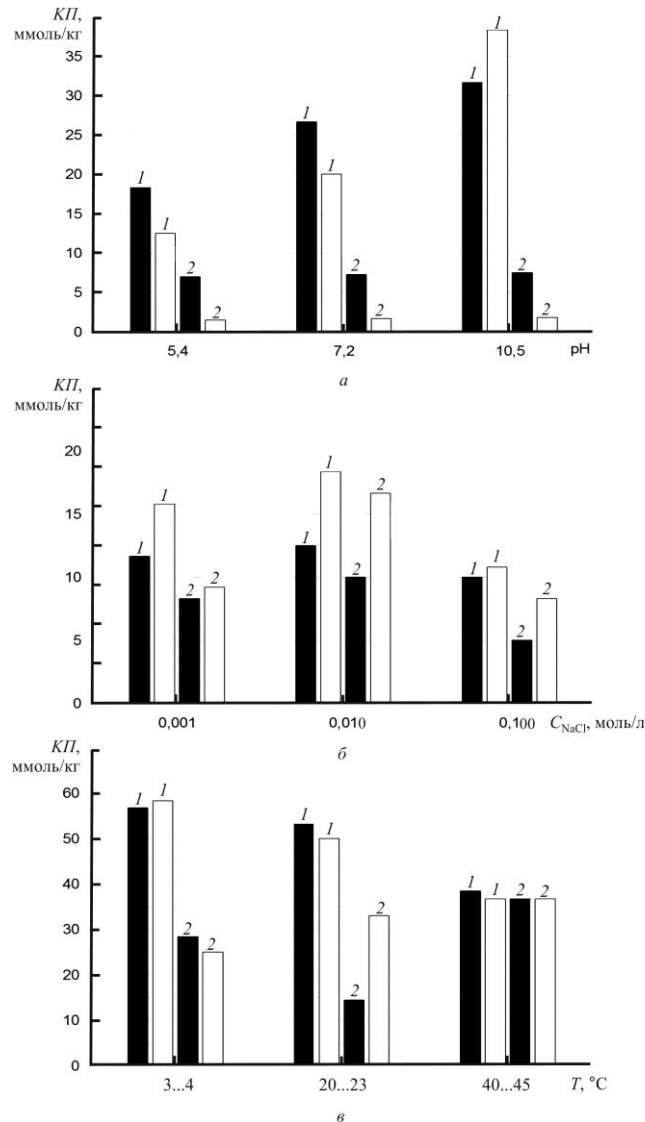
Результаты и их обсуждение

1. Влияние pH на результаты определения показателя *KП* (см. рисунок *a*).

Показатель *KП* сульфитной небеленой целлюлозы во всех опытах оказался выше, чем у беленой химико-термомеханической (древесной) массы. Численное значение *KП* для древесной массы не зависит от изменения pH при использовании обоих титрантов (ПДАДМАХ и ВПК-402), а *KП* сульфитной целлюлозы возрастает с увеличением pH. Такую зависимость для сульфитной целлюлозы можно объяснить увеличением степени диссоциации кислотных групп анионных загрязнений, а различное поведение при титровании фильтратов целлюлозы и древесной массы – разной природой этих загрязнений. Отличия результатов при использовании ПДАДМАХ и ВПК-402 можно объяснить молекулярно-массовым распределением макромолекул обоих титрантов.

2. Влияние концентрации электролита на результаты определения показателя *KП* (см. рисунок *b*).

При незначительном повышении концентрации одновалентной соли наблюдается некоторое увеличение показателя *KП* при использовании как ПДАДМАХ, так и ВПК-402, хотя в дальнейшем происходит его снижение. Такую зависимость можно объяснить уменьшением степени диссоциации кислотных групп, что вызвано экранированием зарядов полиионов и изменением конформации их макромолекул (вытянутая форма – клубок) по мере изменения проводимости. Данная тенденция не зависит от типа волокнистого полуфабриката или катионного реагента. Такое предположение подтверждается измерением вязкости растворов ПЭ при разной проводимости. Из теории коллоидного титрования известно [10], что изменение pH или концентрации электролита не должно влиять на результаты титрования сильных ПЭ.



Влияние pH фильтрата (а), концентрации NaCl (б) и температуры фильтрата (в) на показатель *KП* ($C = 20$ г/л): 1 – ЦСФИ; 2 – БХТММ; ■ – ПДАДМАХ; □ – ВПК-402

3. Влияние температуры фильтрата на результаты определения показателя *KП* (см. рисунок в).

В зависимости от типа массы температура фильтрата оказывает сложное влияние на результаты титрования. С ее повышением наблюдается снижение показателя *KП* сульфитной целлюлозы и повышение *KП* древесной

**Значение показателя катионной потребности
в зависимости от точки отбора и композиции бумажной массы**

Точка отбора	Композиция по волокну	КП, мкмоль/л
Машинный бассейн	Целлюлоза (100 %)	100
Сборник регистровой воды	«	160
Машинный бассейн	МС5Б (80 %) +ХТММ (20 %)	500
Сборник регистровой воды	«	540
Машинный бассейн	МС5Б (100 %) (использование солей алюминия)	540
Напорный ящик	«	360
Сборник регистровой воды	«	320
Сборник регистровой воды	Обесцвеченная макулатура разных марок (100 %)	330
Сборник регистровой воды	Целлюлоза (100 %) (преимущественно хлопковая)	50

массы, хотя при низких температурах КП сульфитной целлюлозы оказывается намного выше. Такие зависимости можно объяснить изменением подвижности кинетических сегментов макромолекул, скорости образования полиэлектролитного и окрашенного комплексов, а также деструкцией производных галактуроновых кислот, нестойких даже к незначительному повышению температуры [2], и увеличением суммарного содержания поликислот. Подобное наблюдается на бумажных фабриках в связи с сезонными колебаниями температуры производственной воды. С этими колебаниями может быть связан повышенный расход химических вспомогательных веществ.

Как показывают полученные экспериментальные данные, уровень катионной потребности в потоке бумажной массы с предприятий, использующих разные композиции (см. таблицу), зависит не только от типа полуфабриката (композиции), но и точки отбора. Если не используются соли алюминия, то наивысший уровень КП отмечен у регистровой воды, что связано с многократным накоплением анионных загрязнений в коротком цикле водооборота.

Полученные в таблице результаты показывают, что при сравнении показателя КП волокнистых гидросуспензий следует указывать тип титранта, точку отбора массы, физико-химические параметры фильтрата и применяемые химические вспомогательные вещества. Результаты исследования могут быть использованы бумажными фабриками и поставщиками химикатов при определении оптимальной дозировки химических вспомогательных веществ.

Выводы

1. Разработана упрощенная методика определения катионной потребности обратным индикаторным коллоидным титрованием.
2. Показано, что присутствует сложное влияние физико-химических параметров фильтрата на результаты определения показателя катионной потребности.

3. Установлено, что показатель катионной потребности бумажного потока зависит не только от композиции по волокну, но и точки отбора массы и применяемых химических вспомогательных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова Л.В. Опыт определения катионной потребности бумажной массы и оборотной воды в условиях ОАО ПЗБФ // Междунар. науч.-практ. конф. «Водопользование в технологии, экологии, энергетике и экономике предприятия». СПб., 2009. С. 84–85.
2. Пранович А.В. Пектины древесины // Докл. СПб отд-ния РХО им. Д.И. Менделеева. апр. 2011.
3. Смолин А.С., Шабиев Р.О. Комплексные исследования электроповерхностных свойств в гидросуспензиях растительных волокон // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 124–133. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Яркола П. Исследование дзета-потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 177–184.
5. Соколов В.В., Селемнева Д.В., Шишканов Н.В. Интерферирующие вещества – «анионный мусор» – «катионная потребность» в ЦБП // 17-й Менделеевский съезд по общей и прикладной химии «Материалы и нанотехнологии». Казань, 2003. С. 395–399.
6. Determination of zeta potential and cationic demand in ECF and TCF bleached pulp from eucalyptus and flax. Influence of measuring conditions / E.M. Cadena [et al.] // Cellulose. 2009. 16. P. 491–500.
7. Gullichsen J., Paulapuro H. Papermaking science and technology. Book 4. Papermaking chemistry / L. Neimo (book ed.). Jyväskylä : Fapet, 1999. (1-й электрон. опт. диск).
8. Phipps J. S. Some mechanistic insights for using the streaming current detector to measure wet-end charge // TAPPI J. 1999. 82 (2). P. 157–165.
9. SCAN-W 12:04. Process Waters. Cationic Demand. Polyelectrolyte titration with a screaming current detector. Stockholm, 2004. 4 p.
10. Schneider R., Schessni H., Hilbert H. Zusammenspiel zwischen Trübung und Ladung in Theorie und Praxis / G. Grenz u. J. Weigl (Hrsg.) // PTS Grenzflächenchemie Symposium. München, 2001. S. 12.1–12.16
11. Tanaka H., Sakamoto Y. Polyelectrolyte titration using fluorescent indicator. I. Direct titration of anionic and cationic polyelectrolytes with 10^{-4} N standard solutions // J. Polymer Sci. Part A: Polymer Chem. 1993. 31. P. 2687–2691.

Поступила 12.08.11

E.I. Vasilyeva, A.S. Smolin, O.A. Udovenko, R.O. Shabiev

Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

Characteristic of Cationic Demand Estimation in Fibrous Hydro Suspensions

The article illustrates the effect of some physical and chemical parameters on the results of cationic demand estimation in fibrous hydrosuspensions. Analysis of the cation demand value is provided depending on the sampling point and the stock composition. The simplified technique for determination of cationic demand is developed by the authors. The replacement of imported titrant by the native analogous material is shown. These results will improve the accuracy of the parameters control of a wet end of the paper machine.

Key words: cationic demand, colloid titration, polyelectrolytes.

УДК 676.017

Э.Л. Алимпиев¹, Я.В. Казаков², **В.И. Комаров²**

¹ОАО «Архангельский ЦБК»

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

Алимпиев Эдуард Львович родился в 1967 г., окончил в 1993 г. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В.И. Ульянова (Ленина). Инженер отдела АСУТП и ОДУ ОАО «Архангельский ЦБК». Имеет 4 опубликованных работы в области управления технологией целлюлозно-бумажных материалов.
E-mail: alimpiev.eduard@appm.ru



Казаков Яков Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 160 научных трудов в области деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.
E-mail: j.kazakov@narfu.ru



РАСЧЕТ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЯЕМОГО АСУТП ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КРАФТ-ЛАЙНЕРА

Рассмотрена возможность оптимизации технологического процесса, управляемого АСУТП, на примере производства картона крафт-лайнера на ОАО «Архангельский ЦБК». Получены регрессионные модели, на основании которых количественно оценен вклад отдельных факторов в изменение прочностных характеристик картона. Показана возможность оптимизации технологического процесса получения крафт-лайнера.

Ключевые слова: крафт-линейер, технологический процесс производства картона, прочностные характеристики, статистические методы, влияющие факторы, регрессионная модель.

Необходимость исследований в области технологии и управления качеством бумаги и картона диктуется растущими требованиями к качеству картонно-бумажной продукции. Проблемы применения результатов экспериментов, полученных в лабораторных условиях, связаны с жесткими регламентными ограничениями реального технологического процесса. Следовательно, для производственных условий необходимы методы, исключаящие вмешательство в процесс, которое могло бы привести к ухудшению потребительских свойств готовой продукции. Доступность и широкое применение современных АСУТП обеспечивает возможность сбора и накопления данных о

технологическом процессе за длительный период времени. Применение статистических расчетов к получаемому массиву данных позволяет выявлять и анализировать влияние различных факторов на интересующие характеристики выпускаемых материалов. [3].

В данной работе представлены результаты исследования технологического процесса производства крафт-лайнера на картоноделательной машине КДМ-1 ОАО «Архангельский ЦБК». Композиция картона содержит хвойную сульфатную целлюлозу высокого выхода (ЦВВ), вырабатываемую на установках «Камюр», и нейтрально-сульфитную листовенную полуцеллюлозу (НСПЦ), получаемую на установках «Пандия».

Основные потребительские свойства картона, как тарно-упаковочного материала определяются его прочностными характеристиками. Поэтому при выполнении исследований из списка регламентируемых ГОСТ Р 53207–2008 [4] характеристик нами выбраны: абсолютное сопротивление продавливанию P , кПа; разрушающее усилие сжатия кольца в поперечном направлении R_{CT} , Н. Функционирование на КДМ-1 АСУТП и системы управления качеством DaVinci сводит к минимуму колебания массы 1 м^2 и влажности картона. Однако это не гарантирует стабильности потребительских характеристик готовой продукции, определяемых лабораторными методами. Как следствие, в общем выпускаемом объеме присутствует доля несортовой продукции.

В качестве факторных признаков выбраны 20 характеристик, определяемых по данным анализов, выполняемых лабораторией размольно-подготовительного отделения цеха картона, и данные системы АСУТП: M – масса, г/м^2 ; %НСПЦ – процентное содержание нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы в массе основного слоя; $СП_{о.с}$ – степень помола массы основного слоя, °ШР; $c_{о.с}$ – концентрация массы в баке постоянного уровня основного слоя, %; $c_{н.я1}$ – концентрация массы в напорном ящике основного слоя, %; $pH_{н.я1}$ – pH массы в напорном ящике основного слоя; $t_{н.я1}$ – температура массы в напорном ящике основного слоя, °С; $FS_{о.с}$ – соотношение напуска массы основного слоя; $СП_{п.с}$ – степень помола массы покровного слоя, °ШР; $c_{н.я2}$ – концентрация массы в напорном ящике покровного слоя, %; $pH_{н.я2}$ – pH массы в напорном ящике покровного слоя; $FS_{п.с}$ – соотношение напуска покровного слоя; $R_{кл}$ – расход канифольного клея, л/мин; $c_{кл}$ – концентрация канифольного клея, г/л; $\rho_{гл}$ – плотность серноокислого глинозема, г/см^3 ; $pH_{гл}$ – pH глинозема; $R_{гл1}$ – расход глинозема основного слоя, $\text{м}^3/\text{ч}$; $R_{гл2}$ – расход глинозема покровного слоя, $\text{м}^3/\text{ч}$; $SN_{о.с}$ – суммарный напор в напорном ящике основного слоя, м; $SN_{п.с}$ – суммарный напор в напорном ящике покровного слоя, м; $СП_{НСПЦ}$ – степень помола НСПЦ.

Значения характеристик качества картона сгруппированы по массе 1 м^2 и усреднены по ширине тамбура, им сопоставлены значения факторных признаков. Объем выборок (количество проанализированных тамбуров) составил: для образцов картона массой 125 г/м^2 – 2888; 140 г/м^2 – 3649; 150 г/м^2 – 1971; 175 г/м^2 – 2992.

Для проверки допустимости применения методов статистического анализа к выборкам данных, полученных, в том числе, и по данным АСУТП, были выполнены расчеты описательной статистики. Полученные результаты [1] показали, что распределения для большинства из выбранных переменных приблизительно соответствуют нормальному закону, что означает применимость к выборкам методики статистического анализа [5, 6].

Сравнительная оценка нестабильности технологических параметров и прочностных характеристик крафт-лайнера в условиях работы АСУТП показала, что коэффициент вариации V_{σ} прочностных характеристик составляет 5...8 %. В то же время, V_{σ} для ряда факторных признаков значительно больше, чем для прочностных характеристик картона [1]. В ходе анализа данных установлено, что в условиях работы системы регулирования и поддержания целевых параметров в регламентных диапазонах на легких сортах картона доля несортной продукции составляет около 10 %, на тяжелых (с отклонением значений от минимальных регламентных границ в пределах 10...15 %) – порядка 5 %. Тем не менее, прогнозирующая способность наборов переменных, сформированных по наибольшему значению V_{σ} , оказалась неудовлетворительной, поскольку данные наборы не обеспечивают стабильности значений коэффициентов множественной корреляции для картона разной массы, имеют более низкий критерий значимости, а также среди них нет факторов, напрямую определяющих бумагообразующие свойства волокна.

Для выявления из общего списка факторов с наиболее существенным влиянием на первом этапе был использован парный корреляционный анализ. Наибольшие значения вычисленных коэффициентов парной корреляции r_{xy} для всех сочетаний x_i, y_j находятся в пределах 0,25...0,42. Это свидетельствует о слабости парных связей [5], что не позволяет однозначно установить какие-либо парные зависимости. Примеры корреляционных полей для характеристик с наибольшей теснотой связи представлены на рис. 1. Выполненная проверка на значимость полученных коэффициентов r_{xy} по критерию Стьюдента и их интервальная оценка на репрезентативность для генеральной совокупности [7] показали действительность и репрезентативность коэффициентов парной корреляции. Однако малые (на абсолютной величине) коэффициенты парной корреляции создают трудности при подборе параметров многофакторной модели.

Для выявления альтернативного способа получения сокращенного перечня факторов, имеющих наибольшее влияние на прочностные характеристики крафт-лайнера, нами предложен и апробирован метод экстремальных значений, заключающийся в сопоставлении экстремальных значений факторного признака и усредненных значений зависимой переменной. Вычислены усредненные значения переменных, удовлетворяющих следующим условиям:

$$x_i \leq \min_{10}(x_i); x_k \geq \max_{10}(x_i); y_{j_m} \leq \min_{10}(y_j); y_{j_n} \geq \max_{10}(y_j);$$

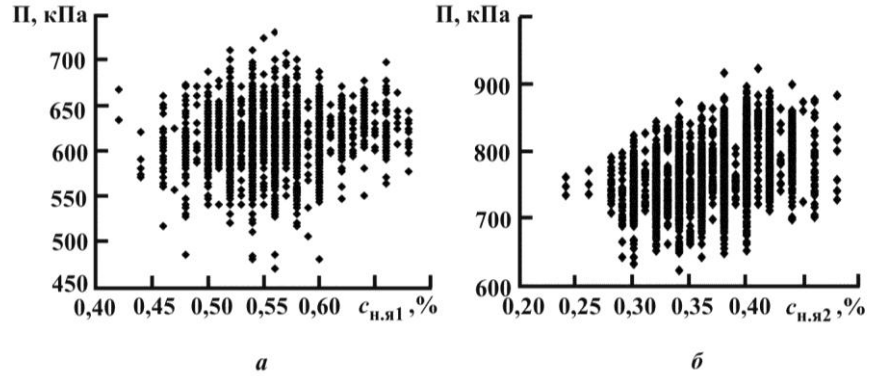


Рис. 1. Примеры корреляционных полей для абсолютного сопротивления продавливанию (Π) и концентрации массы в напорном ящике ($c_{н.я}$): *a* – основной слой (картон 125 г/м^2 ; $r_{xy} = 0,32$), *б* – покровный слой (175 г/м^2 ; $r_{xy} = 0,42$)

$$\overline{y_j(x_{i_k})}_{\max} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k y_j(x_{i_n}); \quad \overline{y_j(x_{i_l})}_{\min} = \frac{1}{l} \sum_{n=1}^l y_j(x_{i_n}), \quad (1)$$

где $\min_{10}(x_i)$; $\max_{10}(x_i)$; $\min_{10}(y_i)$; $\max_{10}(y_i)$ – десятое наименьшее и наибольшее для наборов значений каждой переменной (x_i) и (y_i).

Величина Δ_y , рассчитываемая по уравнению

$$\Delta_y = \frac{\overline{y_j(x_{i_k})}_{\max} - \overline{y_j(x_{i_l})}_{\min}}{\max_{10}(y_j) - \min_{10}(y_j)} = \frac{\frac{1}{k} \sum_{n=1}^k y_j(x_{i_n}) - \frac{1}{l} \sum_{n=1}^l y_j(x_{i_n})}{\max_{10}(y_j) - \min_{10}(y_j)}, \quad (2)$$

позволяет судить о степени зависимости результативного признака от факторного в диапазоне его изменения и устойчивости наблюдаемой связи в различных интервалах времени [2]. В отличие от парного корреляционного анализа этот метод не учитывает расположение средних значений, но чувствителен к изменениям в граничных областях диапазона.

В качестве критерия пригодности к дальнейшим исследованиям для наборов факторных переменных использованы коэффициенты множественной корреляции [2]. Действительность полученных коэффициентов подтверждена критерием Фишера–Снедекора [6].

Для проведения регрессионного анализа использованы перечни влияющих факторов, выбранные по коэффициентам парной корреляции $|r_{xy}| > 0,2$ и соответствию экстремальных значений прочностных характеристик экстремальным значениям влияющих факторов $|\Delta_y| > 0,15$.

Использованный нами метод многошагового регрессионного анализа дает возможность исключить наименее значимые факторы из исходного набора переменных, упрощая практическое использование и повышая прогнозирующую способность полученных моделей. При этом для оценки значимости

Коэффициенты уравнений регрессии a_i , изменение характеристик картона y_i , обусловленное изменением x_i для выбранных факторов

Масса $1 \text{ м}^2, \text{ г}$	Параметры уравнения	Характери- стика Y	Влияющие факторы							Суммарное ΔY	R^2	n
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7			
Выбранные по соответствию экстремальных значений												
	RCT		%НСПЦ	СП _{loc}	рН _{ка2}	рН _{ка1}	рН _{ка2}	$R_{ка2}$	$R_{ка1}$	$R_{ка2}$	SN_{loc}	
140	a_i	161	0,1	1,3	6,3	1,2	6,3	0,9	0,9	1,0	-3,0	
	Y_{min}	150	0,0	13,0	4,4	4,4	3,4	0,0	0,9	0,9	2,2	
	Y_{max}	290	41,7	20,0	8,0	8,0	5,6	4,5	5,8	5,8	5,0	
	$Y_{max}-Y_{min}$	140	4,0	8,9	4,4	4,4	13,8	4,1	5,1	8,6	48,8	0,11
	Π		M	СП _{loc}	$t_{ка1}$	$t_{ка2}$	SN_{loc}	$R_{ка2}$	SN_{loc}			
175	a_i	201	1,3	5,8	2,7	2,7	425,4	-15,0	-0,2	-0,2	*	
	Y_{min}	620	170,0	13,0	34,0	34,0	0,2	0,3	1,7	1,7	-	
	Y_{max}	923	180,0	20,0	57,0	57,0	0,5	5,1	4,6	4,6	-	0,28
	$Y_{max}-Y_{min}$	303	13,1	40,3	61,0	102,1	-71,6	-0,6	-0,6	-0,6	144,3	
Выбранные по условию $r_{кр} > 0,2$												
	Π		$SN_{ка1}$	$t_{ка1}$	$SN_{ка2}$	$SN_{ка1}$	СП _{ка1}	СП _{ка2}				
125	a_i	407	71,2	-	177,3	11,8	2,8	-	-	-	-	
	Y_{min}	470	0,4	-	0,2	2,9	13,0	-	-	-	-	0,13
	Y_{max}	730	0,7	-	0,5	5,4	23,0	-	-	-	-	
	$Y_{max}-Y_{min}$	260	18,5	-	46,1	28,7	27,6	-	-	-	120,9	
140	a_i	451	45,0	0,7	108,6	6,1	5,1	-	-	-	-	
	Y_{min}	500	0,5	33,0	0,2	2,5	12,0	-	-	-	-	0,08
	Y_{max}	780	0,7	59,0	0,5	5,4	22,0	-	-	-	-	
	$Y_{max}-Y_{min}$	280	12,6	18,2	26,1	17,5	51,3	-	-	-	125,6	
150	a_i	568	90,1	2,2	64,1	-22,2	2,2	-	-	-	-	
	Y_{min}	520	0,5	31,0	0,2	2,3	12,0	-	-	-	-	0,09
	Y_{max}	820	0,8	57,0	0,5	5,4	19,0	-	-	-	-	
	$Y_{max}-Y_{min}$	300	27,0	56,9	17,3	67,7	15,2	-	-	-	184,2	
175	a_i	623	-	3,6	493,4	-32,2	-5,5	-	-	-	-	
	Y_{min}	620	-	34,0	0,2	1,9	13,0	-	-	-	-	0,25
	Y_{max}	923	-	57,0	0,5	5,3	20,0	-	-	-	-	
	$Y_{max}-Y_{min}$	303	-	81,8	118,4	107,3	38,8	-	-	-	346,4	

Окончание табл.

Масса 1 м ³ , г	Параметры уравнения	Характери- стика \bar{Y}	Влияющие факторы							Суммарное ΔY	R^2	n
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7			
		RCT	Выбранные по условию $|r_{xy}| > 0,2$									
			СП _{ос}	$c_{o,c}$	$c_{н,я1}$	$c_{н,я2}$	$SM_{п,c}$					
125	a_i	190	-	-	-19,2	19,0	-3,8	-	-	-		
	Y_{min}	135	-	-	0,4	0,2	2,9	-	-	-		
	Y_{max}	270	-	-	0,7	0,5	5,4	-	-	-		
	$Y_{max}-Y_{min}$	135	-	-	5,0	4,9	9,3	-	-	-	19,3	
140	a_i	184	1,4	1,9	4,3	17,9	-2,0	-	-	-		
	Y_{min}	150	13,0	2,1	0,5	0,2	2,5	-	-	-		
	Y_{max}	290	20,0	3,7	0,7	0,5	5,4	-	-	-		
	$Y_{max}-Y_{min}$	140	9,9	3,2	1,2	4,3	5,8	-	-	-	24,3	
150	a_i	127	3,4	4,9	-	70,9	1,7	-	-	-		
	Y_{min}	140	13,0	2,3	-	0,2	2,3	-	-	-		
	Y_{max}	320	21,0	3,8	-	0,5	5,4	-	-	-		
	$Y_{max}-Y_{min}$	180	7,0	7,3	-	19,1	5,1	-	-	-	58,5	
175	a_i	136	2,9	11,7	35,8	118,8	-	-	-	-		
	Y_{min}	220	13,0	2,8	0,4	0,2	-	-	-	-		
	Y_{max}	350	20,0	3,9	0,9	0,5	-	-	-	-		
	$Y_{max}-Y_{min}$	130	20,1	12,5	18,3	28,5	-	-	-	-	79,3	

* Коэффициент незначим по t-критерию.

каждого фактора используется t-критерий Стьюдента для уровня значимости $\alpha = 0,95$. Исключению в этом случае подлежит регрессор со значением t-критерия меньше табличного при данном уровне значимости.

Приведем пример расчета регрессионной модели для прогнозирования абсолютного сопротивления продавливанию (П) крафт-лайнера массой 125 г/м^2 . Исходный набор факторов определен по результатам парного корреляционного анализа: $x_1 - c_{н.я1}$; $x_2 - t_{н.я1}$; $x_3 - c_{н.я2}$; $x_4 - SN_{п.с}$; $x_5 - СП_{НСПЦ}$.

Шаг 1. Расчет уравнения регрессии с учетом всех влияющих факторов:

$$Y = 420,52 + 74,65x_1 - 0,38x_2 + 178,34x_3 + 12,67x_4 + 2,71x_5.$$

Табличное значение критерия Стьюдента для выборки данного объема (1318 наблюдений) $t_{0,05; 1318} = 1,96$. Второй регрессор ($x_2 - t_{н.я1}$) – незначим, поскольку для него абсолютное значение t-критерия (1,51) меньше табличного.

Шаг 2. После исключения $x_2 (t_{н.я1})$ из набора факторов имеем

$$Y = 407,36 + 71,17x_1 + 177,34x_3 + 11,76x_4 + 2,76x_5.$$

Все коэффициенты полученного уравнения действительны, уравнение является окончательным.

Коэффициенты полученных адекватных регрессионных моделей для крафт-лайнера разной массы 1 м^2 представлены в таблице. В строчках $|Y_{\max} - Y_{\min}|$ приведен вклад каждого фактора в изменение исследуемой характеристики.

Для оценки целесообразности практического использования полученных моделей выполнены расчеты распределений вероятностных значений прочностных характеристик картона. Примеры гистограмм представлены на рис. 2.

Для наборов факторов, полученных по максимальным значениям коэффициентов парной корреляции, применение уравнений регрессии для абсолютного сопротивления продавливанию (П) крафт-лайнера может дать увеличение от 52 (125 г/м^2) до 165 кПа (175 г/м^2), для разрушающего усилия сжатия кольца в поперечном направлении (РСТ) – от 11 (125) до 40 Н (175 г/м^2). Это позволит существенно сократить долю несортной продукции по прочностным характеристикам без дополнительных затрат на дорогостоящее оборудование и изменения в технологии производства.

Для управления технологией крафт-лайнера возможность манипулирования параметрами, кроме статистических характеристик, определяется ресурсоемкостью соответствующих этапов переработки. В уравнения для абсолютного сопротивления продавливанию входит $СП_{НСПЦ}$, для РСТ – $СП_{о.с}$, которые связаны с работой размольного оборудования. Изменение степени помола в большую сторону влечет дополнительные энергетические затраты. Такие переменные, как $c_{н.я1}$, $c_{н.я2}$, $t_{н.я1}$, $c_{о.с}$, $SN_{п.с}$, определяются соответствующими контурами регулирования, имеют согласованный вклад в результирующие характеристики, поэтому при использовании полученных

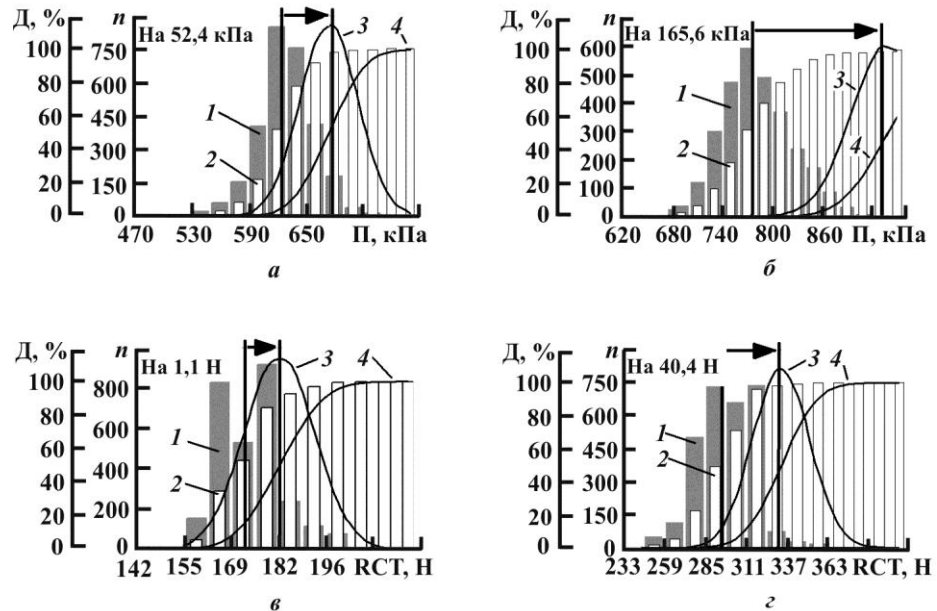


Рис. 2. Гистограммы оптимизированных распределений прочностных характеристик для наборов факторов, полученных по максимальным значениям коэффициентов парной корреляции: *а, б* – абсолютное сопротивление продавливанию (П); *в, г* – сопротивление сжатию кольца (RCT); *а, в* – 125 г/м²; *б, г* – 175 г/м²; 1 – число попаданий (*n*) в интервал; 2 – доля (Д), %; 3 – расчетная дифференциальная функция распределения; 4 – расчетная интегральная функция распределения, %

статистических зависимостей перечисленные переменные следует считать приоритетными факторами с учетом их абсолютного вклада в прочностные характеристики крафт-лайнера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимтеев Э.Л., Казаков Я.В. Возможность применения статистических методов для отбора технологических факторов процесса, управляемого АСУТП, критичных для прочностных характеристик крафт-лайнера // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Междунар. науч.-техн. конф. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. С. 219–224.
2. Алимтеев Э.Л., Комаров В.И., Казаков Я.В. Использование методики экстремальных значений для оценки влияния вариации технологических параметров процесса, управляемого АСУТП, на показатели качества крафт-лайнера // Современные тенденции в развитии производства бумаги, картона, гофрокартона из макулатурного сырья: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 2010. С. 32–41.
3. Алимтеев, Э.Л., Комаров В.И., Казаков Я.В. Использование статистического анализа для оптимизации параметров технологического процесса // Развитие научных основ современных способов комплексной химической и биохимической переработки

растительного сырья: Наука – северному региону: сб. науч. тр. Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. Вып. 83 С. 76–84.

4. ГОСТ Р 53207–2008. Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия. Введ. 2010-01-01. М.: Изд-во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2009. 11 с.

5. Денисенко, В.П., Тертицкий Н.М. Корреляционный анализ в целлюлозно-бумажном производстве. М.: Лесн. пром-сть, 1968. 152 с.

7. Применение статистических методов контроля и управления качеством технологических процессов, услуг и продукции / В.И. Комаров [и др.]: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. 179 с.

6. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.

Поступила 20.10.11

*E.L. Alimpiev*¹, *Ya.V. Kazakov*², *V.I. Komarov*²

¹JSC "Arkhangelsk Pulp and Paper Mill"

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

Calculation of Regression Models for Optimization of APCS-Controlled Process in Kraft-Liner Production

The possibility of optimization of APCS-controlled process has been considered through the example of kraft-liner production at JSC "Arkhangelsk Pulp and Paper Mill". There have been obtained and presented some regression models, which served as the basis for calculating the quantitative estimate of contribution of certain factors to the changes in strength characteristics of cardboard. The possibility of optimization of APCS-controlled process of kraft-liner production is shown.

Key words: kraft-liner, process of cardboard production, strength characteristics, statistical methods, contributing factors, regression model.

УДК [674.093.26+674/812-41].0504.06

Б.К. Иванов¹, В.В. Глухих²

¹ЗАО «ВНИИДРЕВ»

²Уральский государственный лесотехнический университет

Иванов Борис Константинович родился в 1951 г., окончил в 1974 г. Новосибирский государственный университет, заведующий НИЛ химических испытаний древесных материалов ЗАО «ВНИИДРЕВ» (г. Балабаново). Имеет 60 печатных работ в области древесных композиционных материалов.

E-mail: brs-ivn@list.ru



Глухих Виктор Владимирович родился в 1949 г., окончил в 1972 г. Уральский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии переработки пластических масс Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 140 печатных работ в области полимерных композиционных материалов.

E-mail: gvictor@e1.ru



ОЦЕНКА ЛИНЕЙНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ РЕЗУЛЬТАТАМИ ИЗМЕРЕНИЙ ВЫДЕЛЕНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ФАНЕРЫ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ*

Проведено определение миграции формальдегида из фанеры тремя методами для оценки линейных связей между результатами измерений выделения из нее формальдегида перфораторным и камерным методами с газовым методом, предлагаемым в проекте Российского национального стандарта. Корреляционным и регрессионным анализами установлены сильные парные линейные связи между результатами измерений тремя методами и их статистические параметры.

Ключевые слова: фанера, формальдегид, измерения, методы, связь.

Для измерения выделения (миграции) формальдегида из фанеры в Европейских региональных стандартах используют камерный [12], газовый [13] и перфораторный [11] методы с аналитическим определением формальдегида по реакции с ацетилацетоновым реактивом [9]. В этих стандартах предусмотрена линейная зависимость концентрации формальдегида от оптической плотности анализируемого раствора. В работе [1], выполненной в АНО ЦСЛ «Лессертика», показано, что для древесных композиционных материалов с низким уровнем миграции формальдегида более точной является нелинейная

* Работа выполнена при поддержке Минпромторга РФ, Госконтракт № 10411.0816900.19.035.

© Иванов Б.К., Глухих В.В., 2012

зависимость концентрации формальдегида от оптической плотности анализируемого раствора. Многие предприятия используют разработанную АНО ЦСЛ «Лессертика» методику определения формальдегида, которая применена в национальном стандарте России для определения выделения (миграции) формальдегида методом газового анализа [5].

С учетом введения в действие с 1 июля 2011 г. нового национального стандарта возникла необходимость уточнения связей между результатами измерений выделяющегося из древесных композиционных материалов формальдегида по модифицированной методике. Знание таких связей необходимо для прогнозирования по результатам производственного контроля продукции перфораторным и газовым методами анализа результатов испытаний камерным методом, который используют в надзорных органах, сертификационных центрах и в качестве арбитражного метода.

Задачей данной работы является оценка линейных связей между результатами измерений выделения формальдегида из фанеры перфораторным и камерным методами с газовым методом, предлагаемым в проекте Российского национального стандарта.

Экспериментальная часть

Для испытаний были взяты промышленные образцы фанеры марок ФК и ФСФ, различающиеся слоистостью, толщиной шпона лиственных и хвойных пород древесины.

Для количественной оценки выделения формальдегида из фанеры использовали:

прибор «перфоратор», конструкция которого описана в [5];

камеру объемом 1 м³ с моделированием наиболее типичных условий эксплуатации изделий по температуре, влажности, расходу воздуха и насыщенности испытываемыми образцами, как предусмотрено в [4, 12] и описано в работе [1];

прибор газового анализа марки ПГА 4017-002 [9], изготовленный согласно ТУ 4215-001-46599031-2008 в ООО «ПромСервисКонсалт» (Россия).

Количественное определение формальдегида проводили по его реакции с ацетилацетоном в водной среде уксуснокислого аммония с образованием 3,5-диацетил-1,4-дигидролутидина, имеющего максимум поглощения при длине волны 412 нм [9]. Калибровочную кривую зависимости оптической плотности раствора от содержания в нем формальдегида строили через начало координат при параболической аппроксимации данных [1].

Результаты и их обсуждение

Для оценки парной линейной связи между результатами измерений выделения формальдегида из фанеры перфораторным, газоаналитическим и камерным методами использовали корреляционный и линейный регрессионный анализы [7, 8].

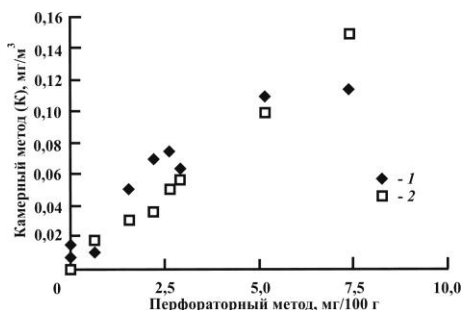


Рис. 1. Поле корреляции для результатов измерений миграции формальдегида из фанеры камерным и перфораторным методами: 1 – эксперимент К, 2 – прогноз К

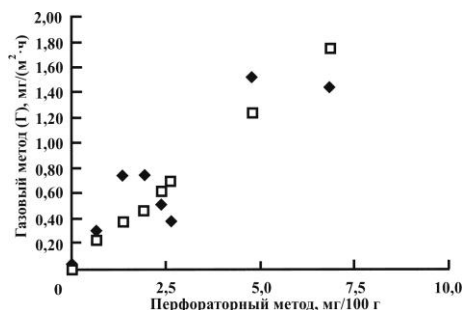


Рис. 2. Поле корреляции для результатов измерений миграции формальдегида из фанеры газовым и перфораторным методами: 1 – эксперимент Г, 2 – прогноз Г

Поля парной корреляции результатов измерений миграции формальдегида из исследованных образцов фанеры представлены на рис. 1 – 3, статистические оценки коэффициентов выборочной парной линейной корреляции и линейных уравнений регрессии – в табл. 1 и 2. Кроме того, на рис. 1 – 3 нанесены расчетные точки (прогноз) на основе статистической обработки экспериментальных данных.

Поскольку выборки имеют небольшой объем и затруднительна их проверка на подчинение нормальному распределению, то, кроме выборочного парного коэффициента линейной корреляции Пирсона r , был рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена ρ .

Для проверки гипотезы о линейно некоррелированных результатах измерений двумя методами, с учетом допущения их нормального распределения, использовали следующую T -статистику [2]:

$$T = |r| \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}; \quad T = |\rho| \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}},$$

где n – объем выборки.

Рис. 3. Поле корреляции для результатов измерений миграции формальдегида из фанеры камерным и газовым методами: 1 – эксперимент К, 2 – прогноз К

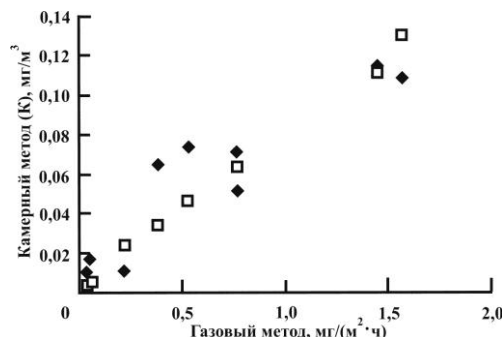


Таблица 1

Статистические оценки коэффициентов корреляции

Методы измерений	n	Коэффициент корреляции Спирмена		Коэффициент корреляции Пирсона	
		ρ	α	r	α
Газовый – перфораторный	9	0,824	0,006	0,766	0,0006000
Камерный – перфораторный	9	0,921	0,0004	0,872	0,0000700
Камерный – газовый	17	0,870	0,002	0,795	0,0000005

Рассчитанные значения коэффициентов корреляции и уровни их значимости α приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что для всех пар методов с вероятностью более 0,99 ($\alpha < 0,01$) существует сильная линейная связь между результатами измерений миграции формальдегида из фанеры, определяемого ацетилацетоновым методом по модифицированной методике.

Наличие сильной линейной связи между результатами измерений миграции формальдегида из фанеры тремя методами подтверждают данные линейного регрессионного анализа (табл. 2), проведенного [2, 10] для линейной регрессионной модели $y = a + bx$ при максимальном уровне значимости уравнения $\beta \leq 0,05$ (y и x – результаты измерений миграции формальдегида из фанеры, полученные двумя методами). Результаты регрессионного анализа показали, что наиболее высокая вероятность линейной связи между результатами измерений наблюдается при использовании модели $y = bx$. Статистические оценки этой регрессионной модели, приведенные в табл. 2, показывают, что существует очень тесная линейная связь между результатами измерения миграции формальдегида из фанеры

Таблица 2

Статистические оценки уравнений линейной регрессии $y = bx$

Методы измерений	n	Оценки коэффициента b				Оценки уравнения	
		Численное значение	Уровень значимости	Граница доверительного интервала для вероятности $P = 0,95$		Нормированный R^2	β
				нижняя	верхняя		
Газовый (y)–перфораторный (x)	9	0,250270	$2,2 \cdot 10^{-5}$	0,18465	0,31589	0,781	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Камерный (y)–перфораторный (x)	9	0,020680	$5,8 \cdot 10^{-6}$	0,01615	0,02521	0,808	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Камерный (y)–газовый (x)	17	0,089519	$4,5 \cdot 10^{-10}$	0,075273	0,103765	0,856	$1,0 \cdot 10^{-9}$

камерным и газовым методами ($\beta = 1,0 \cdot 10^{-9}$). Связь же между результатами измерения миграции формальдегида перфораторным и газовым методами менее тесная, но также статистически очень сильная ($P > 0,9999$).

Выводы

1. Между результатами измерений выделения формальдегида из фанеры перфораторным, камерным методами и методом газового анализа существуют сильные парные линейные корреляционные связи.

2. Перфораторный метод и метод газового анализа могут быть успешно использованы в целях производственного контроля миграции формальдегида из фанеры и прогнозирования значения этого показателя, определяемого камерным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардонов В.А., Иванов Б.К. Особенности испытаний древесных материалов с малым выделением формальдегида камерным методом // Дизайн и производство мебели. 2007. № 3 (16). С. 42–47.
2. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя СПб.: Питер, 2008. 608 с.
3. ГОСТ 27678–88. Плиты древесностружечные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. Введ. 1989-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1988.
4. ГОСТ 30255–95. Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах. Введ. 1996-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1995.
5. ГОСТ Р 53867–2010. Плиты древесные и фанера. Определение выделения формальдегида методом газового анализа. Введ. 2010-07-01. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии «Стандартинформ», 2010.
6. Иванов Б.К. Специфика проведения испытаний древесных композиционных материалов методом газового анализа на российских предприятиях // Тр. IV Междунар. евразийского симп. «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». Екатеринбург, 29 сент. – 2 окт. 2009 г. С. 159 – 165.
7. Орлов А.И. Прикладная статистика М.: Экзамен, 2004. 483 с.
8. Румицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента М.: Наука, 1971. 192 с.
9. Скубневская, Г.И., Дульцева Г.Г. Загрязнение атмосферы формальдегидом: анал. обзор // РАН. Сиб. отд-ние. ГПНТБ, ИХКиГ. Новосибирск, 1994. 70 с. (Сер. Экология. Вып. 31).
10. Халафян А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учеб. Изд. 3-е М.: ООО «Бином-Пресс», 2008. 512 с.
11. EN 120. Wood based panels. Determination of formaldehyde content. Extraction method called the perforator method.
12. EN 717-1. Wood based panels. Determination of formaldehyde release. Part 1: Formaldehyde emission by the chamber method.
13. EN 717-2. Wood based panels. Determination of formaldehyde release. Part 2: Formaldehyde release by the gas analysis method.

Поступила 15.11.10

B.K. Ivanov¹, V.V. Glukhikh²

¹CJSC "All-Russian Scientific Research Institute of Wood"

²Ural State Forest Engineering University

Evaluation of Linear Connections Among the Measurements Results of Formaldehyde Isolation from Plywood by Various Methods

Isolation of formaldehyde from plywood is carried out by three methods to assess linear connections of the measurement results of formaldehyde isolation from plywood by perforator and chamber methods with the isolation measurements realized by the gas analysis method suggested in the draft Russian national standard. Strong pair linear connections among the measurements results and their statistical parameters produced by the three methods are established by correlation and regression analyses.

Key words: plywood, formaldehyde, measurements, methods, correlation.

УДК 628.16

А.М. Байбородин, К.Б. Воронцов, Н.И. Богданович

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

Байбородин Артем Михайлович родился в 1985 г., окончил Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 20 печатных работ в области очистки производственных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности.
E-mail: bajartyom@yandex.ru



Воронцов Константин Борисович родился в 1979 г., окончил Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 40 печатных работ в области очистки производственных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности.
E-mail: kvork@mail.ru



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный работник высшей школы РФ. Имеет более 350 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.
E-mail: lesochim@agtu.ru



КОАГУЛЯЦИОННАЯ ОЧИСТКА СИЛЬНОЗАГРЯЗНЕННОГО СТОКА ДПЦ-3 ОАО «АРХАНГЕЛЬСКИЙ ЦБК»

Показана возможность очистки сильнозагрязненного стока древесно-подготовительного цеха ОАО «Архангельский ЦБК» методом коагуляции.

Ключевые слова: коагулянт, флокулянт, коагуляция, сточные воды, целлюлозно-бумажные предприятия.

Важной задачей производства целлюлозы является сохранение благоприятной экологической обстановки на территории, где непосредственно расположено предприятие, и в регионе в целом. Актуальность данной задачи объясняется тем, что работа предприятий ЦБП сопровождается большим количеством вредных выбросов как в воздушную, так и в водную среду. Известно [6], что ЦБП занимает одно из лидирующих мест среди всех отраслей промышленности по объемам водопотребления и водоотведения. Сточные воды ЦБП характеризуются довольно сложным качественным и количественным

составом и содержат много биологически трудно окисляемых веществ. При этом традиционным и самым распространенным методом их обезвреживания до сих пор остается именно биологическая очистка. В результате ущерб, наносимый окружающей среде, при условии отсутствия других эффективных методов очистки сточных вод может быть значительным [5].

Одним из решений вышеуказанной задачи является разработка и внедрение промышленно приемлемых способов локальной очистки с использованием методов коагуляции для удаления биологически трудно окисляемых загрязнений сточных вод ЦБП, к которым относятся сточные воды древесно-подготовительного цеха (ДПЦ) и, в какой-то мере, условно чистые воды (УЧВ). Локальная их очистка (без смешения с другими стоками предприятия) с использованием современных коагулянтов и флокулянтов позволит повысить эффективность биологической очистки и снизить негативное влияние на окружающую среду [1].

Имеются данные о результатах очистки сточных вод различных отраслей промышленности коагулянтами, флокулянтами, их смесями и композициями [2], практическом исследовании коагуляционной очистки лигнинсодержащих стоков ЦБП [4]. Однако исследования по коагуляционной очистке сточных вод ДПЦ до сих пор не проводились.

Объектом настоящих исследований являлась сточная вода ДПЦ-3 ОАО АЦБК, которая представляет собой мутный раствор темно-коричневого цвета со специфическим запахом и содержит большое количество взвешенных веществ (ВВ). В качестве реагентов использовали коагулянты: сульфат алюминия (СА), оксихлорид алюминия (ОХА), алюмокалиевые квасцы (АКК), сульфат железа Ш(СЖ Ш). Для улучшения седиментационных свойств образующегося при коагуляции осадка применяли катионный флокулянт фирмы «Налко». Концентрации растворов коагулянтов составляли 1 % по активному веществу, флокулянта – 0,03 %.

Образцы сточных вод хранили при пониженной температуре, перед началом эксперимента их выдерживали в термостате при температуре 20 °С. Предварительно отделяли крупнодисперсную взвесь отстаиванием в течение 10 мин с последующим декантированием. Обработку проводили следующим образом. В стакан вместимостью 250 мл наливали 200 мл исследуемой сточной воды, в которую при постоянном перемешивании вносили определенный объем раствора коагулянта. Пробу перемешивали в течение 2 мин, после чего, продолжая перемешивать, вносили определенный объем раствора флокулянта и снова перемешивали 2 мин. По окончании процесса смесь отстаивали в течение 30 мин, после чего в надосадочной жидкости определяли рН, химическое потребление кислорода (ХПК) и содержание ВВ без дополнительного фильтрования, а также цветность после фильтрования пробы. По разности показателей до и после очистки рассчитывали ее эффективность [3]. В экспериментах варьировали дозировки исследуемых коагулянтов при постоянной дозировке флокулянта 1 мг/л. Значение рН исходной воды находилось в интервале 6,97...7,15.

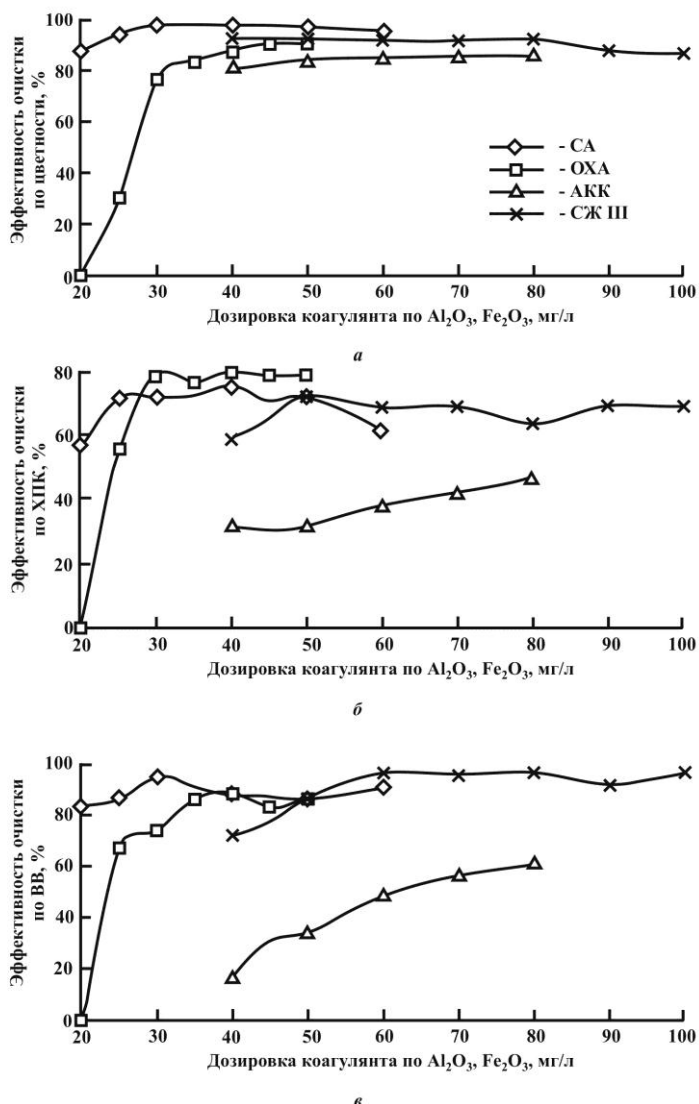


Рис. 1. Влияние дозировки коагулянтов на эффективность очистки ДПЦ по цветности (а), ХПК (б) и ВВ (в)

Из полученных экспериментальных данных следует, что максимальная эффективность очистки по цветности (98 %) достигнута при использовании СА в количестве 30 мг/л (рис. 1, а). При этом приемлемая степень очистки достигается уже при 20 мг/л. Применяя ОХА, удалось очистить сточную воду на 90 %, при этом дозировка в 1,5 раза выше по сравнению с СА. Степень очистки по цветности с помощью СЖ III находится примерно на том же уровне, что и при использовании ОХА, дозировка – 40 мг/л. Наименьшую эф-

фективность очистки по цветности (80...85 %) из всех опробованных коагулянтов имеют АКК при дозировке 40...70 мг/л.

Максимальный эффект очистки сточной воды по ХПК составил 80 % при использовании ОХА и дозировке коагулянта 30 мг/л (рис. 1, б). Применение СА приводит к несколько меньшему эффекту – 70...75 % при дозировках коагулянта от 25 мг/л. Обработка стока ДПЦ с помощью СЖ III также позволяет удалить до 70 % загрязнений по ХПК, но при несколько больших по сравнению с СА и ОХА дозировках – от 50 мг/л. Относительно невысокий эффект достигается при использовании АКК – максимальная степень очистки составляет 48 % в исследованном интервале дозировок от 40 до 80 мг/л.

Похожая картина наблюдается и с эффективностью удаления ВВ (рис. 1, в): АКК проявляет наименьший эффект, остальные коагулянты удаляют до 90...95 % ВВ, однако при различных дозировках. По минимальной дозировке, при которой достигается указанный выше эффект, коагулянты можно расположить в следующий ряд: СА – ОХА – СЖ III – АКК.

Из вышеизложенного следует, что АКК использовать для очистки сточной воды ДПЦ нецелесообразно ввиду низкой эффективности и больших дозировок реагента. Применение СЖ III также требует повышенных по сравнению с СА и ОХА дозировок. Таким образом наиболее эффективными являются алюмосодержащие реагенты: сульфат и оксихлорид алюминия, причем первый – по показателю цветности, а второй – по ХПК.

Исследованные пробы сточной воды ДПЦ отличались рН, значения которого стохастически менялись от 4,5 до 7,2. Данный показатель влияет на эффективность очистки по всем исследуемым параметрам: обработка стоков, рН_{исх} которых ниже 7,0, малоэффективна (табл. 1). При введении коагулянта происходит снижение рН до 3... 4, в то время как большинство реагентов работают в интервале 5 ... 7.

Таблица 1

Изменение эффективности очистки в зависимости от рН_{исх} стока

Коагулянт	Дозировка по Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , мг /л	Исходный рН	Эффективность очистки, %		
			по цветности	по ХПК	по ВВ
СА	60	4,56	0	36,0	85,4
		4,90	0	46,0	88,6
		5,58	31,3	44,4	90,9
		7,15	95,1	61,1	90,0
ОХА	50	4,56	39,4	46,4	91,9
		5,72	60,0	49,7	78,1
		7,15	90,1	78,6	85,3
АКК	70	4,97	0	12,1	82,3
		5,72	0	39,5	70,7
		6,97	84,8	42,1	55,3
СЖ III	70	4,97	0	56,7	94,5
		6,97	91,1	68,7	94,5

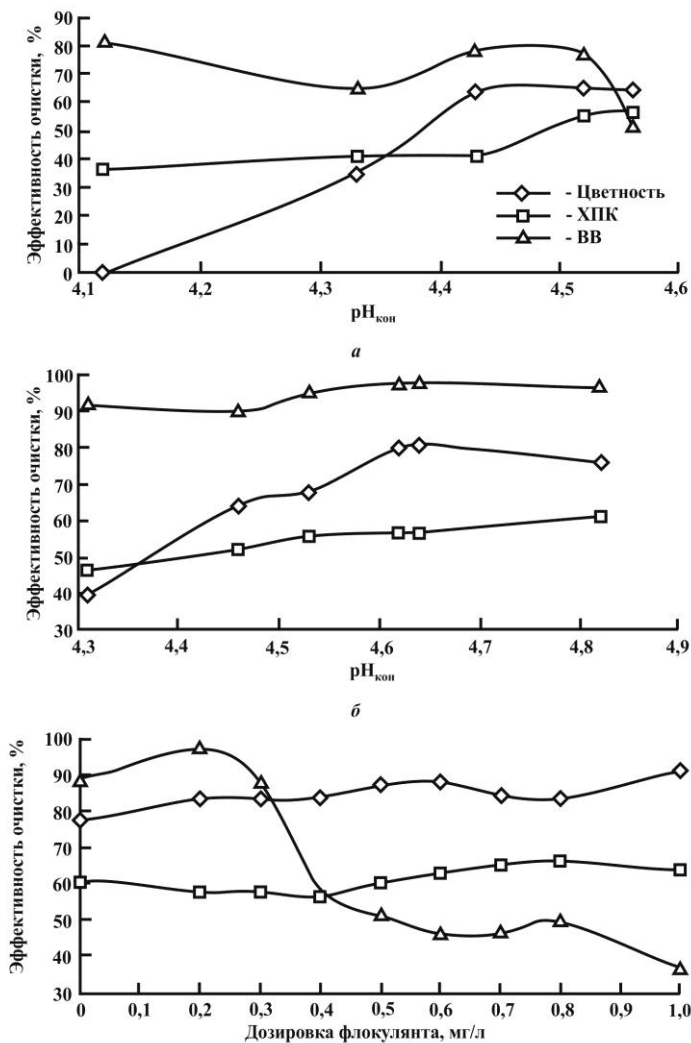


Рис. 2. Влияние $pH_{кон}$ (а, б) и дозировки флокулянта (в) на эффективность очистки ДПЦ сульфатом (а) и оксихлоридом (б, в) алюминия

Поэтому дополнительно была проведена корректировка pH раствором гидроксида натрия, который вводили в пробу воды после обработки коагулянтом, так как ранее было выявлено, что введение щелочного агента (до или после коагулянта) не оказывает на степень очистки заметного влияния. При этом pH контролировали после обработки щелочным реагентом – $pH_{кон}$ (рис. 2, а, б).

Как видно из представленных на рис. 2, а, данных, при очистке сульфатом алюминия эффективность очистки по цветности и ХПК возрастает с по-

Таблица 2

Влияние исходной загрязненности сточной воды на показатели очистки по ХПК и цветности

Исходная загрязненность	Удельный расход коагулянта, мг Al_2O_3 /ед. ХПК (или цветности)	Эффективность очистки, %
По ХПК, мг/л:		
1426	0,069/0,045	61,1/78,6
2375	0,057/0,049	44,4/42,8
2782	0,046/0,035	47,0/51,3
4346	0,038/0,025	36,4/46,4
по цветности, °ПКШ:		
1420	90,0/60,6	0,042/0,035
1620	4,9/9,9	0,037/0,031
2620	68,7/74,4	0,023/0,019

Примечания. 1. В числителе приведены данные для СА, в знаменателе – для ОХА. 2. Удельный расход коагулянта – в мг/ед. ХПК или в мг/ед. цветности.

вышением $pH_{кон}$. При этом первый показатель сильно зависит от pH (в интервале от 4,1 до 4,4 увеличивается от 0 до 60 %), второй в меньшей степени (небольшой рост эффективности (на 15 %) наблюдается при $pH > 4,5$). Степень очистки по ВВ находится на уровне 65...80 %, а при $pH > 4,5$ снижается от 80 до 50 %.

Эффективность очистки при использовании ОХА (рис. 2, б) по ХПК в исследованном интервале pH меняется незначительно – от 50 до 60 %. Степень очистки по цветности зависит от $pH_{кон}$ в гораздо большей степени – эффективность очистки увеличивается от 40 до 80 %. Степень удаления ВВ во всем интервале pH находится на высоком (90...98 %) уровне.

Таким образом, из всех определяемых показателей от $pH_{кон}$ наиболее зависит эффективность очистки сточной воды по цветности.

Исследованные пробы сточной воды довольно сильно отличались по исходным показателям (табл. 2), в том числе и по ХПК, которое менялось от 970 до 4346 мг O_2 /л. Влияние исходной загрязненной сточной воды на показатели очистки по ХПК и цветности приведены в табл. 2.

Максимальный эффект очистки по цветности с использованием СА выше, чем с ОХА, а по ХПК – наоборот. При этом эффективность очистки зависит не только от дозировки коагулянта, но и от исходной загрязненности как по цветности, так и по ХПК. Во всех случаях удельный расход коагулянта тем меньше, чем выше исходная загрязненность пробы воды.

Для эффективной очистки стока ДПЦ при использовании большинства из исследуемых коагулянтов требуется введение флокулянта в качестве второй ступени обработки воды. В противном случае результативность очистки уменьшается вследствие снижения эффективности процесса образования осадка и ухудшения его седиментационных свойств. Из всех представленных в данной работе коагулянтов только ОХА можно использовать в качестве действенного реагента в системе локальной очистки стока ДПЦ (рис. 2, в).

Выводы

1. Эффективность очистки по всем показателям максимальна при использовании СА и ОХА: 90...98 % по цветности, 70...80 % по ХПК, 90...95 % по ВВ. При этом СА эффективнее очищает сточную воду по цветности, а ОХА – по ХПК. Применение остальных коагулянтов нецелесообразно в связи с меньшей их эффективностью.

2. Обработка сточной воды, у которой $pH_{исх} < 7,0$, малоэффективна. Для повышения степени очистки требуется корректировка до pH 6,5...7,0, однако получить такой же эффект, как при обработке проб с $pH_{исх}$, близким к нейтральному, не удалось.

3. Только с использованием ОХА можно эффективно вести процесс очистки без дополнительного введения в сточную воду флокулянта. При этом получен примерно такой же эффект, как и при использовании других коагулянтов, но совместно с флокулянтом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байбородин А.М., Воронцов К.Б., Богданович Н.И. Локальная очистка сильнозагрязненных сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности коагулянтами // Материалы Всеросс. науч.-техн. интернет-конф. «Экология и безопасность техносферы». Орел, 2009. С. 71–73.

2. Гетманцев С.В. Нечаев И.А., Гандурина Л.П. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. М.: Изд-во АСВ, 2008. 272 с.

3. Лурье Ю.Ю. Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. М.: Химия, 1974. 336 с.

4. Максимов В.Ф., Вольф И.В., Винокуров Т.А. Очистка и рекуперация промышленных выбросов: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 416 с.

5. Соболева Т.В. Приоритетные показатели эколого-аналитического контроля состава сточных вод в технологическом нормировании деятельности предприятий ЦБП: дисс. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2007. 128 с.

6. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области в 2009 г. / Отв. ред. Л.Г. Доморощенова. Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 2010. 297 с.

Поступила 22.06.11

A.M. Baiborodin, K.B. Vorontsov, N.I. Bogdanovich

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

Coagulation Treatment of Heavily Polluted Effluents of the Woodroom-3 of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”

The possibility of treatment of heavily polluted effluents of the woodroom-3 of JSC “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill” using coagulation method is demonstrated.

Key words: coagulant, flocculant, coagulation, effluents, pulp and paper mills.



УДК 338.512

А.П. Бровин¹, А.В. Пластинин²

¹ООО «РН-Архангельскнефтепродукт»

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

Бровин Андрей Павлович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, руководитель казначейско-финансовой службы ООО «РН-Архангельскнефтепродукт», аспирант кафедры менеджмента института экономики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 4 печатные работы.
Тел.: 8(8182) 21-89-92



Пластинин Александр Викторович родился в 1947 г., окончил в 1969 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, директор института экономики, профессор кафедры менеджмента Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заслуженный экономист РФ, чл.-корр. РАЕН. Имеет более 100 печатных работ в области экономики лесного комплекса и управления.
Тел.: 8(8182) 28-76-13



ПРИМЕНЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Представлена модель, являющаяся действенным инструментом повышения эффективности управления запасами.

Ключевые слова: ABC-анализ, XYZ-анализ, матричное слияние, метод экспертных оценок, степень согласованности экспертных мнений, стратегия управления запасами.

Современная отечественная практика управления запасами характеризуется:
стихийно или традиционно сложившейся методикой управления запасами на всех этапах движения материального потока в организации;
отсутствием попыток алгоритмизации методической работы по управлению запасами;
недостаточной статистической базой расчета уровня запасов;
высоким уровнем ошибки прогнозирования потребности в запасах;
слабым методическим взаимодействием служб различных функциональных областей логистики, связанных с формированием запасов;
отсутствием четко сформулированной логистической стратегии управления запасами [2].

Целлюлозно-бумажные предприятия используют и хранят большое количество наименований материальных запасов. Понятно, что уделить внимание каждой номенклатурной позиции товарно-материальных ценностей (ТМЦ) физически невозможно. Эффективный менеджмент запасов заключается в распределении усилий по нормированию и контролю уровня запасов в соответствии с их значимостью.

Задача заключается в том, чтобы не переоценить второстепенные запасы за счет действительно важных. В данной статье рассмотрен научный подход к определению тех запасов, управление которыми даст наибольший экономический эффект.

Для исследования материальных потоков в целлюлозно-бумажной промышленности рекомендуется применение ABC-анализа, который позволяет концентрировать внимание и усилия на запасах с максимальной отдачей.

Эффективного менеджмента особо требуют товарно-материальные позиции, играющие ключевую роль в производственном процессе целлюлозно-бумажного предприятия. При анализе запасов показателем важности чаще всего является годовое использование данного вида запаса в денежном выражении. Поэтому при проведении ABC-анализа вся номенклатура запасов разбивается на группы в зависимости от их доли в совокупном объеме денежных средств, вложенных в материальные запасы [1].

Число групп при проведении ABC-анализа может быть любым, но наибольшее распространение получило деление рассматриваемой совокупности на 3 группы (класса): А (очень важные), В (средней степени важности) и С (наименее важные). Известно несколько методов разбиения на группы: эмпирический метод, метод суммы, дифференциальный метод, метод многоугольника, метод касательных, метод петли [2].

В отечественной и зарубежной литературе чаще описывается эмпирический метод. Применительно к материальным запасам целлюлозно-бумажного предприятия используют следующий алгоритм действий ABC-анализа:

1. Установить по данным оборотной ведомости счета 10 «Материалы» совокупную стоимость использования по каждой статье запасов за период.
2. Проранжировать номенклатурные статьи (позиции) запасов, расположив их по уменьшению годовой стоимости использования.
3. Рассчитать долю каждой позиции в общей стоимости запасов.
4. Определить накопленные доли по каждой статье запасов.
5. Сгруппировать последовательно номенклатурные позиции запасов [1].

На последнем этапе остановимся более подробно. При проведении ABC-анализа наиболее часто применяют классический вариант группировки, основанный на законе асимметрии, открытом Парето (табл. 1).

В классическом подходе ABC-классификация основывается лишь на предположении, что закон Парето действует в сфере бизнеса и, в частности, проявляется в статистике движения запасов. Практика зарубежных предприятий и анализ статистики отечественных предприятий показывают, что это не так. Закон Парето не является объективной взаимосвязью качественных характеристик и номенклатурных позиций запаса. Следовательно, популярное соотношение 80 : 20 нельзя использовать автоматически при проведении ABC-классификации в управлении запасами на отдельно взятом предприятии [4].

Таблица 1

Границы групп запасов ТМЦ по степени важности при классическом варианте ABC-анализа

Группа запасов	Доля в общей стоимости запасов	Доля в общем количестве номенклатурных позиций
	%	
А	80	20
В	15	30
С	5	50

Для учета специфики целлюлозно-бумажного предприятия считаем целесообразным определять границы групп А, В и С методом экспертных оценок. При этом предлагаемые экспертам варианты границ отдельных групп определять не произвольно, а на основе обработки информации использования запасов за несколько лет.

Установленные этим методом границы групп запасов можно применять в практических целях только при условии достаточно высокой согласованности мнений участников экспертизы. Для этого необходимо рассчитать коэффициент конкордации Кендалла:

$$W = \frac{12 S}{m^2(n^3 - n)},$$

где S – сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего арифметического рангов;

m – число экспертов;

n – число объектов экспертизы.

Качество полученных результатов считается высоким, если $W = 0,7...0,8$. В нашем случае он составляет 0,89, что свидетельствует о достаточно высокой степени согласованности экспертов. Границы групп (точность прогноза), полученные методом экспертной оценки, для ОАО «Соломбальский целлюлозно-бумажный комбинат» (ОАО СЦБК) приведены в табл. 2, результаты ABC-анализа запасов ТМЦ – в табл. 3.

Таблица 2

Границы групп запасов ТМЦ по степени важности с применением метода экспертных оценок

Группа запасов	Доля в общей стоимости запасов	Доля в общем количестве номенклатурных позиций
	%	
А	82	10
В	12	18
С	6	72

Таблица 3

Группировка запасов ТМЦ по степени важности

Объект учета (по сч.10 «Материалы»)	Доля в обороте	Доля в обороте с накопительным итогом	Группа
	%		
Щепа технологическая окоренная привозная	50,71	50,71	А
Баланс бессортный	13,14	63,85	А
Вспомогательные материалы	9,84	73,69	А
Топливо (мазут)	7,98	81,67	А
Черный щелок	5,69	87,36	В
Топливо (уголь)	2,89	90,25	В
Топливо (бензин)	1,96	92,22	В
Прочее	7,78	100,00	С

Разделение многочисленных запасов на группы позволяет использовать систему их контроля только для наиболее важных номенклатурных позиций. ABC-анализ показал, что в около 82 % стоимости запасов приходится на четыре позиции, выделенные в группу А. Эти номенклатурные позиции заслуживают повышенного внимания, что проявляется в следующем:

при необходимости оформляется соответствующая запись (в информационной системе управленческого и бухгалтерского учета) о принадлежности ТМЦ к группе А;

- ежедневно обновляется информация в базе данных;
- проводится более частая инвентаризация;
- спрос на них прогнозируется с помощью более точных методик;
- рекомендуется расчет оптимального размера заказа.

По нашему мнению, номенклатурные позиции группы А следует подвергнуть еще одной группировке, которая позволит более эффективно управлять этими запасами. По степени прогнозируемости использования можно выделить следующие ТМЦ:

- имеющие стабильный спрос (равномерное использование в производстве);
- спрос на которые подвергается существенным колебаниям;
- спрос на которые носит случайный характер.

Произвести классификацию запасов предприятия в зависимости от характера потребления и точности прогнозирования изменений в их потребности позволяет XYZ-анализ.

Категория X (высокая) – это группа, которая характеризуется стабильной величиной потребления и высокой точностью прогноза срока потребления.

К категории Y (средняя) относятся ресурсы, потребность в которых характеризуется известными тенденциями (например, сезонными колебаниями) и средними возможностями их прогнозирования.

Ресурсы, относимые к категории Z (низкая), используются нерегулярно, их потребление прогнозировать сложно.

В качестве показателя, отражающего возможные колебания в потреблении материальных запасов, рекомендуют использовать коэффициент вариации, который определяют по каждой номенклатурной позиции использования ТМЦ:

$$v = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x}} 100\% ,$$

где \bar{x} – среднее значение параметра по оцениваемому объекту анализа;

x_i – значение параметра по оцениваемому объекту за i -й период;

n – число рассматриваемых периодов [1].

Коэффициент вариации – относительная величина (в процентах), характеризующая колебания признака от среднего арифметического. При $v \leq 10\%$ изменчивость вариационного ряда незначительная, при $10\% \leq v \leq 20\%$ – средняя, при $20\% \leq v \leq 30\%$ – значительная, при $v \leq 33\%$ – информация неоднородна и позицию следует исключить из дальнейших расчетов.

Рекомендуемое распределение запасов с использованием XYZ-анализа:

группа X – объекты, коэффициент вариации по которым не превышает 10...15 %;

группа Y – объекты, коэффициент вариации по которым составляет 15...25 %;

группа Z – объекты, коэффициент вариации по которым превышает 25 % [3].

Таблица 4
Границы групп запасов ТМЦ по точности прогнозирования с применением метода экспертных оценок

Группа запасов	Коэффициент вариации v , %
X	≤ 21
Y	22...30
Z	≥ 31

Таблица 5

Матрица совмещения ABC и XYZ анализов запасов ТМЦ

Группа запасов по точности прогнозирования	Группа запасов категории А по стабильности использования
X	AX Баланс бессортный
Y	AY Щепа технологическая окоренная привозная, вспомогательные материалы
Z	AZ

По нашему мнению, для учета особенностей целлюлозно-бумажной промышленности следует уточнить границы групп X, Y, Z с помощью метода экспертных оценок. Результаты метода экспертных оценок на ОАО СЦБК приведены в табл. 4.

Расчет коэффициента вариации выполнен на основе информации по ежемесячному использованию отдельных видов запасов ТМЦ на ОАО СЦБК. По коэффициентам вариации каждой номенклатурной позиции, отнесенной к группе А, установлена ее принадлежность к одной из групп (X, Y или Z). В результате проделанной работы получено так называемое «матричное слияние». В данном случае итогом совмещения ABC- и XYZ-анализов является получение матрицы, состоящей из трех групп объектов, которая позволяет для очень важных номенклатурных позиций запасов группы А оценить стабильность (прогнозируемость) их использования (табл. 5).

Таким образом, совмещение результатов ABC и XYZ анализов позволяет сфокусировать внимание на ключевых ТМЦ, выделив наиболее важные, а из них – характеризующиеся стабильным использованием. Номенклатурные позиции группы AX требуют от руководства предприятия наибольшего внимания (в нашем случае – это баланс бессортный). Для него необходимо тщательное планирование потребности, нормирование расходов, тщательный (ежедневный) учет и контроль, постоянный анализ отклонений от запланированных показателей, расчет оптимального размера заказа (по формуле Уилсона). Ее использование рекомендуется на самых весомых в обороте и стабильных в использовании производственных запасах. Весомые запасы — это группа А (ABC-анализ), стабильные запасы — это группа X (XYZ-анализ).

Таким образом, наиболее важные ТМЦ возможно выделить, используя систему классификации запасов на основе:

ABC-анализа (позволяет оценивать степень влияния на конечный результат);

XYZ-анализа (позволяет оценивать стабильность или прогнозируемость этого результата).

Совмещение результатов ABC и XYZ анализов с методом экспертных оценок при достаточной степени согласованности экспертных мнений, на наш взгляд, является действенным инструментом повышения эффективности управления запасами.

Применение приведенной методики на практике возможно путем ее интеграции в действующую на предприятии информационную систему управленческого и бухгалтерского учета (например, Галактика, 1С и т.д.). Это позволит предприятию экономить денежные средства, поскольку готовые программные продукты, модули и надстройки к вышеуказанным продуктам зачастую предлагают излишнюю функциональность, которая просто не нужна для решения поставленных задач.

Для регламентации порядка планирования закупок, списания их в производство, описания требований к аналитической отчетности, а также установления ответственности менеджеров отдела снабжения считаем необходимым разработать Регламент «Организация и управление закупочной деятельностью». Регламентация процессов позволит повысить оборачиваемость запасов и избавиться от лишних товарных остатков.

Выводы

1. Совмещение результатов ABC и XYZ анализов с методом экспертных оценок при достаточной степени согласованности мнений экспертов является действенным инструментом повышения эффективности управления запасами на предприятиях ЦБП.
2. Возможно внедрение предложенной методики для принятия своевременных и верных управленческих решений в области управления материально-производственными ресурсами предприятия.
3. Предложенная модель является гибким инструментом для анализа других бизнес-процессов на предприятии в целях их эффективного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бровин А.П., Пластинин А.В. Использование системы классификации запасов для эффективного управления ими // Международные и национальные особенности прикладной экономики: сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский дом знаний, 2010. С. 24–27.
2. Бровин А.П. Управление запасами широкой номенклатуры с использованием ABC-анализа // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. С. 313–318.
3. Соколова Н.А., Каверина О.Д. Управленческий анализ: учеб. пособие. М.: Бух. учет, 2007. 184 с.
4. Стерлигова А.Н. Управление запасами широкой номенклатуры. С чего начать? // Лог Инфо. 2003. № 12. С. 50–55.

Поступила 22.11.11

A.P. Brovin¹, A.V. Platinin²

¹Treasury and Finance Department of “RN-Arkhangelsknefteprodukt”

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

Implementation of Classification of Stocks in Pulp-and-Paper Industry for the Purpose of their Efficient Management

The model represented is an effective tool for increasing efficiency of stock management.

Key words: ABC-analysis, XYZ-analysis, matrix merging, method of expert appraisals, degree of agreement of expert opinions, stock management strategy.
